



Relação equilibrada entre processos de usinagem com fluidos de corte e meio ambiente

Rodrigo Panosso Zeilmann, Juliana Slomp, Juliano Bueno, Tiago Vacaro

Universidade de Caxias do Sul (UCS)

Centro de Ciências Exatas e Tecnologia (CCET)

Grupo de Usinagem (GUS)

Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130

Caxias do Sul, RS CEP 95070-560

Resumo

A crescente preocupação com o meio ambiente e com a saúde dos operadores de máquinas-ferramentas vem exigindo estudos para redução ou eliminação do uso de fluidos de corte nos processos de usinagem. Os fluidos lubri-refrigerantes são utilizados como meios auxiliares de corte e apresentam as funções de lubrificação e refrigeração do conjunto peça/ferramenta/máquina, além de transporte do cavaco gerado no processo. No entanto, o comportamento do processo de usinagem sob condições severas de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes é diferenciado e ainda pouco compreendido. Desta forma, este trabalho apresenta uma avaliação do comportamento de brocas helicoidais de aço-rápido HSS M2 no processo de furação profunda (5 x d) do aço DIN 1.2711 endurecido, sob diferentes condições de aplicação de fluidos lubri-refrigerantes. O processo foi realizado com aplicação de fluido em abundância, aplicação de ar comprimido e o uso externo de Mínimas Quantidades de Lubrificante (MQL). O principal objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento do desgaste das ferramentas e o acabamento da superfície da parede do furo, em relação ao número de furos.

Palavras-chave: Usinagem, MQL, Ar Comprimido, Desgaste, Rugosidade.

Área Temática: Tecnologias Ambientais.

1 Introdução

As atividades humanas, sobretudo as industriais, colaboraram para mudanças significativas no ambiente em que vivemos. O aumento das exigências ambientais impostas por uma consciência ambiental crescente da população e por uma legislação mais rigorosa fez com que a fabricação de muitos produtos fosse reconsiderada. Assim, houve uma modificação do objetivo principal do sistema produtivo, que visava aspectos tecnológicos e econômicos, e passou a visar aspectos de âmbito produtivo e principalmente de responsabilidade ambiental.

Historicamente, para potencializar a produtividade, foi empregado o fluido de corte nos processos de usinagem. Este tomou tal importância que se tornou, em muitos processos, essencial para a obtenção da qualidade exigida nas peças produzidas.

Porém, através de uma análise geral das operações de usinagem, considerando os aspectos ecológicos, pode-se verificar a existência de várias fontes agressoras ao meio ambiente, entre elas os meios auxiliares da usinagem, de forma mais específica os fluidos de corte ou fluidos lubri-refrigerantes (TEIXEIRA, 2001). A Figura 1 ilustra os impactos ambientais dos fluidos de corte.



Fonte: Alves e Oliveira (2007)

Figura 1 – Impactos ambientais dos fluidos de corte

Em distintos processos os fluidos são utilizados em grandes quantidades para aumentar a vida das ferramentas e para melhorar a qualidade das peças produzidas, conseqüentemente, tornando-se fatores de influência nos custos industriais.

Os fluidos lubri-refrigerantes são responsáveis por introduzir uma série de melhorias no processo de usinagem de metais. Tais melhorias podem ser de caráter funcional ou econômico. As melhorias de caráter funcional são aquelas que facilitam o processo de usinagem, conferindo a este um melhor desempenho, com redução do coeficiente de atrito entre a ferramenta e o cavaco, expulsão do cavaco da região de corte, refrigeração da ferramenta, refrigeração da peça em usinagem, melhor acabamento da peça usinada e refrigeração da máquina-ferramenta. Entre as melhorias de caráter econômico distinguem-se: redução do consumo de energia de corte, redução do custo da ferramenta na operação e impedimento da corrosão da peça usinada (KÖNIG e KLOCKE, 2002).

Para a obtenção destas melhorias, diversas formas de aplicação e tipos de fluidos de corte são utilizados. Entre os meios auxiliares, os principais métodos utilizados são os de aplicação de fluido em abundância e de Mínimas Quantidades de Lubrificante (MQL).

A tendência mundial visa à usinagem sem fluido de corte (usinagem a seco), o que objetiva reduzir de forma significativa os custos com a compra de fluidos de corte e sua destinação final, bem como problemas ocupacionais, tais como doenças de pele e variações de sintomas respiratórios (THOMÉ et al, 2007). Com a usinagem a seco busca-se, ainda, a redução de problemas relacionados ao meio ambiente, onde os fluidos de corte tornam-se graves poluentes da água, do solo e do ar (MIRANDA, 2003).

Na situação convencional, na maioria dos processos de usinagem trabalha-se com aplicação de fluido em abundância, que consiste na utilização de fluido através de uma biqueira, onde o produto é direcionado convenientemente para a região de contato entre a ferramenta e a peça, fazendo com que o produto alcance as proximidades das interfaces

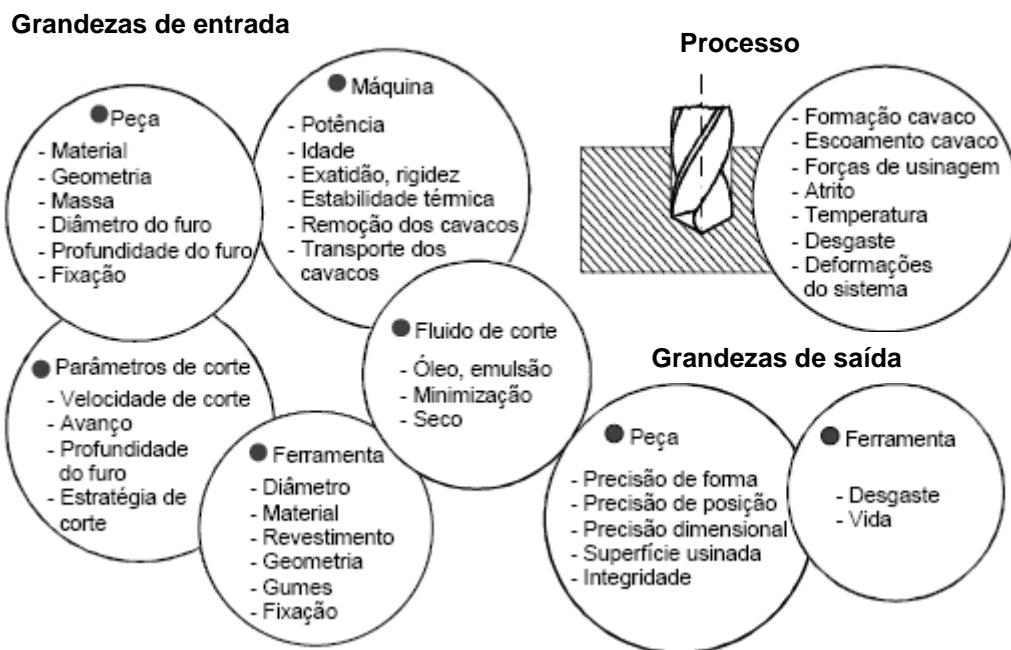


peça/ferramenta e cavaco/ferramenta e permitindo que realize de forma mais completa as suas funções (FERRARESI, 2000).

Essa gama de processos com aplicação de fluido em abundância ocorre devido à quantidade e variedade de máquinas-ferramentas projetadas para esse tipo de trabalho. Além disto, há o paradigma da mudança, isto é, a aceitação por parte das indústrias para a fabricação de máquinas com outros métodos aplicativos de fluido de corte, sendo esta adaptação difícil e lenta, pois agrega custos e trabalho de pesquisa intensa.

A situação desejada é a usinagem a seco, onde o processo é isento de qualquer forma de fluido de corte. Porém, este método exige a adaptação compatível de todos os fatores que influenciam em cada processo de usinagem, porque desaparecem as funções básicas dos fluidos de corte e a quantidade de calor transportada pelo fluido deve ser assimilada pelo cavaco, pela peça e pela ferramenta (TEIXEIRA, 2001).

Na mudança do processo convencional, com aplicação abundante de fluido lubri-refrigerante, para o processo com redução ou eliminação do fluido lubri-refrigerante, tem-se uma alteração de equilíbrio das grandezas de entrada. Esta alteração do equilíbrio pode afetar as grandezas de saída e ter efeitos sobre a qualidade da peça e sobre a vida da ferramenta, conforme pode ser observado na Figura 2.

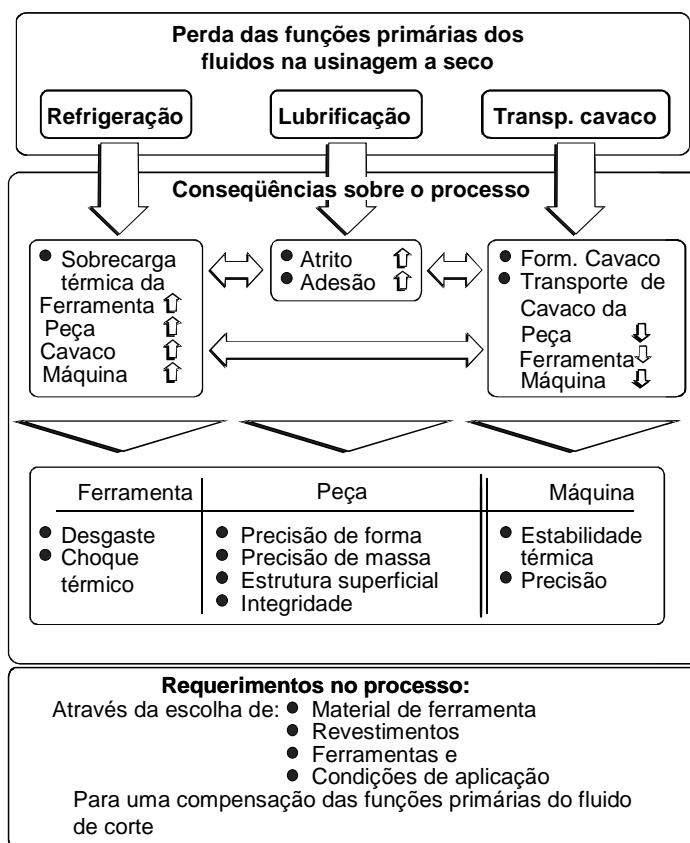


Fonte: Zeilmann (2003)

Figura 2 – Grandezas de entrada e saída do processo de furacão

Na mudança de uma operação de furacão com aplicação abundante de fluido lubri-refrigerante para o processo com redução ou eliminação do fluido lubri-refrigerante, uma análise sistemática das grandezas do processo deve ser realizada (ZEILMANN, 2003).

Em processos com condições mais severas de usinagem como a furacão, a não utilização de fluido de corte tem algumas restrições devido a maiores esforços térmicos e mecânicos do processo, havendo a necessidade de facilitadores do processo. A Figura 3 descreve os principais efeitos da usinagem a seco.



Fonte: Klocke e Gerschwiler (1996)

Figura 3 – Carência das funções primárias para a usinagem a seco

Como em muitos casos não é possível a ausência total do meio auxiliar, o método de aplicação com Mínimas Quantidades de Lubrificante tem se mostrado uma boa alternativa. O conceito MQL pode ser definido como a atomização de uma quantidade mínima de lubrificante (menor que 100 ml/h) em um fluxo de ar comprimido. Essas quantidades mínimas de fluido são suficientes para reduzir substancialmente o atrito na ferramenta e evitar a aderência de material, considerando que a área de contato cavaco/ferramenta é muito pequena (COSTA et al, 2006).

A usinagem com MQL é recente e não são conhecidos precisamente os seus efeitos na máquina-ferramenta, na peça em trabalho e na ferramenta de corte, bem como todos os efeitos ambientais gerados como, por exemplo, a quantidade de óleo suspenso no ar, de óleo fixado na máquina-ferramenta, entre outros. Esta escassez de informações é gerada pela ausência de equipamentos mais modernos de atomização de fluidos para estas aplicações, máquinas-ferramentas adequadas e a adaptação do processo de fabricação a nova realidade (ZEILMANN, 2003).

Para contribuir com a aquisição de maiores informações, uma das linhas do Grupo de Usinagem (GUS), da Universidade de Caxias do Sul, objetiva o desenvolvimento de pesquisas para a redução ou eliminação dos fluidos lubri-refrigerantes nos processos de usinagem, em especial a furação, possibilitando a realização do processo com redução dos impactos negativos causados pelos fluidos de corte ao meio ambiente.

Para o cumprimento de tais objetivos foram realizados ensaios de furação com aplicação de MQL e, para a obtenção de resultados passíveis de comparação, foram feitos ensaios com aplicação de ar comprimido e também com fluido em abundância (vazão de 4 l/min). O ar comprimido, que consiste na aplicação do jato de ar sobre a região de corte, foi



utilizado com a finalidade de facilitar a remoção de cavaco, possibilitando assim uma maior vida da ferramenta.

2 Metodologia

No desenvolvimento dos experimentos foram utilizadas brocas helicoidais de aço-rápido HSS M2, com diâmetro de 8 mm, sem revestimento, fornecidas pela empresa Irwin Industrial Tools Ltda. Para facilitar a quebra e retirada do cavaco do interior do furo foi utilizada a operação com ciclo pica-pau, sendo a profundidade do furo de 5 vezes o diâmetro da broca (40 mm). O material usinado foi o aço DIN 1.2711, com dureza de aproximadamente 40 HRC, e o corpo-de-prova preparado para os ensaios foi fixado a zero grau em relação à mesa do Centro de Usinagem Dyna Myte, modelo DM 4500.

A usinagem com aplicação de MQL foi realizada com o aplicador de óleo por sistema de névoa Quimatic – Nebulizador Tapmatic II, com vazão de fluido de aproximadamente 40 ml/h e pressão constante de 4 bar. O aparelho atomizador consiste de um depósito de óleo pressurizado com regulagens para a vazão de ar comprimido e de óleo, que é liberado em forma de névoa. O equipamento faz a mistura de óleo e ar comprimido na saída do bico de um tubo flexível de forma que, com a pressão do ar, o óleo é atomizado em pequenas gotículas, ficando a mistura em forma de névoa. Com o auxílio do tubo articulável é possível direcionar a névoa para a região próxima ao local de corte.

Os parâmetros de corte utilizados para todas as condições de aplicação de fluido foram de 12 m/min para a velocidade de corte, 0,017 mm para o avanço e 1,5 mm de incremento.

Com os ensaios realizados foram obtidos valores do número de furos feitos pelas brocas com os diferentes meios auxiliares, indicando assim o tempo de vida útil das ferramentas e, além disto, foram verificados os valores de rugosidade dos furos usinados. O principal parâmetro de rugosidade medido foi o R_a , com auxílio de um rugosímetro Taylor Hobson. Para todas as ferramentas ensaiadas, o critério de fim de vida registrado foi o desgaste de flanco máximo, causado pelo elevado atrito da quina desgastada.

3 Resultados

Os resultados obtidos para o comportamento de rugosidade neste experimento são mostrados em forma de gráfico. Os valores plotados correspondem às médias das três posições medidas de rugosidade, para os valores obtidos no início de cada furo. A Figura 4 mostra os gráficos de comportamento de rugosidade ao longo do número de furos para as condições com aplicação de MQL, ar comprimido e emulsão.

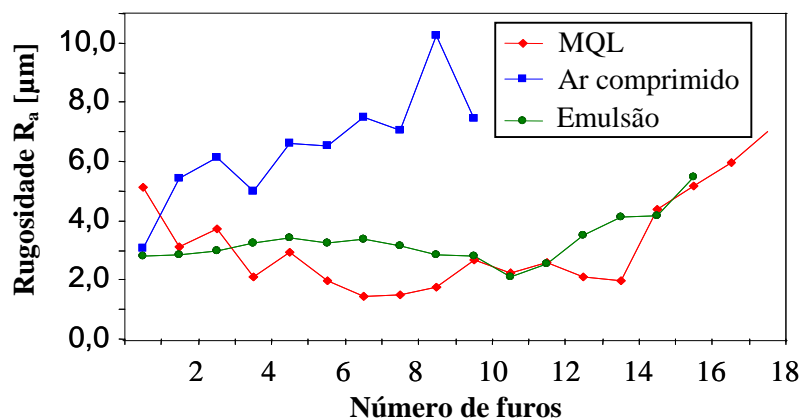


Figura 4 – Gráfico com o comportamento de rugosidade R_a da superfície de furos gerados com aplicação de MQL, ar comprimido e emulsão



Com a aplicação de MQL, o maior valor de R_a medido foi de $7,28 \mu\text{m}$. Nota-se que houve uma grande variação de valores das rugosidades ao longo do número de furos. No primeiro furo o valor da rugosidade foi bastante elevado, isto pode estar relacionado com a condição de conservação do gume que, devido ao micro-filme de lubrificação, tem seu estado novo mantido por maior período de tempo. Nos últimos furos observa-se um aumento da rugosidade, devido à grande quantidade de material aderido no gume da broca e também devido ao arredondamento da quina desgastada, provocado pela severidade do corte. Este fato aponta a influência do desgaste da ferramenta sobre a qualidade superficial da peça (KLOCKE e GERSCHWILER, 1996; KÖNIG e KLOCKE, 2002).

No processo com aplicação de ar comprimido houve um aumento gradual nos valores de rugosidade, sendo que para o penúltimo furo obteve-se o maior valor registrado. No último furo ocorreu uma redução no valor da rugosidade, fenômeno este relacionado à formação de caldeamento, onde o material adere à superfície do furo e mascara a rugosidade.

Na condição de aplicação de emulsão a ferramenta realizou 16 furos (aproximadamente $0,64 \text{ m}$). Os valores medidos para R_a se mantiveram abaixo de $5 \mu\text{m}$, no início e fim de todos os furos realizados. Porém, os valores de R_z e $R_{\text{máx}}$ apresentaram uma variação bastante significativa para os últimos furos, apresentando uma tendência de aumento da rugosidade ao longo do número de furos.

Quanto às ferramentas, a Figura 5 mostra o gráfico com o comportamento da vida das ferramentas em função da quantidade de furos usinados para as diferentes condições de aplicação de fluido.

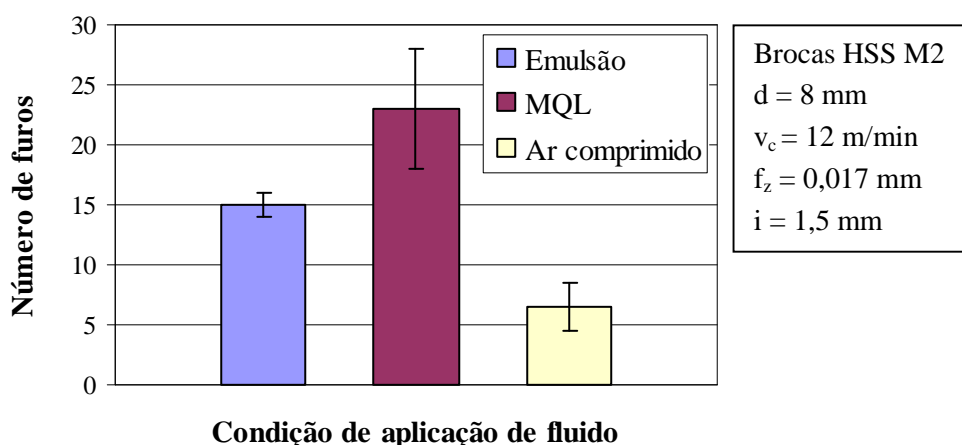


Figura 5 – Gráfico da vida das ferramentas em número de furos usinados

Os resultados mostram que, para a usinagem com aplicação de fluido em abundância (emulsão), foram usinados em média 15 furos e, para a aplicação com ar comprimido, realizaram-se em média 8,5 furos.

A maior durabilidade da ferramenta foi atingida na condição de aplicação de MQL, com média de 23 furos. Para esta condição, a função de lubrificação foi assegurada pela mínima quantidade de óleo, que atinge a interface ferramenta/parede do furo, reduzindo o atrito e ao mesmo tempo mantendo o calor, o qual facilita o corte do material.

Para a condição com aplicação de emulsão, a refrigeração imposta pelo fluido faz com que a temperatura da peça sofra uma redução, retirando assim a ação positiva do calor em facilitar o cisalhamento e o processo de arranque do cavaco. Como consequência, tem-se um aumento da força de corte e do trabalho, gerando um maior desgaste da ferramenta (ZEILMANN, 2007).



O processo realizado com aplicação de ar comprimido atingiu um menor número de furos, pois sem a presença do meio auxiliar o cavaco apresenta uma maior dificuldade de escoar para fora do furo, formando uma grande quantidade de material que atrita intensamente entre os canais da broca e a parede do furo, gerando maior calor e dificultando o desenvolver do processo.

Com os resultados adquiridos constatou-se que é possível a redução da utilização de fluidos lubri-refrigerantes no processo de furação do aço DIN 1.2711 com broca helicoidal HSS, com os parâmetros de corte acima citados. Os efeitos de lubrificação e refrigeração proporcionados pelo uso das Mínimas Quantidades de Lubrificante contribuíram de forma efetiva para a obtenção de uma melhor qualidade superficial da peça usinada.

4 Conclusão

Embora os fluidos de corte tenham importância relevante nas operações de usinagem, os aspectos negativos exigem a necessidade de mudanças rápidas e com qualidade. Sendo assim, a furação, que é um processo complexo, com a aplicação de MQL torna-se também um campo onde se podem amortizar os danos nocivos causados ao meio ambiente. E com o crescente desenvolvimento de novos materiais para ferramentas, acompanhado pela melhora técnica gradativa das máquinas ferramentas e dos métodos de aplicação de meios auxiliares, o desenvolvimento de relações mais equilibradas entre a usinagem com fluido de corte e o meio ambiente é possibilitado de uma forma quantitativa e qualitativa.

Aliando-se a importância da preservação do meio ambiente e a minimização dos fluidos de corte, pode-se obter ganhos em todos os âmbitos. O comprometimento das empresas com o melhor entendimento do funcionamento dos métodos de utilização de fluidos lubri-refrigerantes abrirá caminhos para uma produção mais comprometida ambientalmente, permitindo a satisfação das necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de satisfazerem suas próprias necessidades.

Agradecimentos

Os autores agradecem as empresas parceiras do Grupo de Usinagem (GUS): Arwi Representações Comerciais Ltda, Blaser Swisslube do Brasil Ltda e Tapmatic do Brasil Indústria e Comércio Ltda; bem como à Universidade de Caxias do Sul, pelo apoio ao Projeto Usimold II.

Referências

ALVES, S. M.; OLIVEIRA, J. F. G. de. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. **Revista Produção**, v. 17, n. 1, Janeiro/Abril de 2007, p. 129-138.

COSTA, E. S.; MACHADO, A. R.; ROSA, S. N.; SOUZA JR. E. A. Qualidade dos furos usinados com diferentes métodos de lubrificação e refrigeração. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 484, Maio de 2006, p. 140-161.

FERRARESI, D. **Fundamentos da Usinagem dos Metais**. São Paulo: Edgard Blücher, 2000. 751 p.

KÖNIG, W.; KLOCKE, F. **Fertigungsverfahren - Drehen, Fräsen, Bohren**. 7. Auflage. Berlin: Springer-Verlag Berlin, 2002. 471 p.



KLOCKE, F.; GERSCHWILER, K. Trockenbearbeitung – Grundlagen, Grenzen, Perspektiven. **VDI Berichte**, n. 1240, 1996, p. 1- 43.

MIRANDA, G. W. A. **Uma contribuição ao processo de furação sem fluido de corte com broca de metal duro revestida com TiAlN**. Tese de doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003, 160 p.

TEIXEIRA, C. R. **Benefícios ecológicos da redução e eliminação de fluido de corte nos processos de usinagem com ferramentas de geometria definida**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001, 153 p.

THOMÉ, R.; BIANCHI, E. C.; ARRUDA, O. S.; AGUIAR, P. R. Doenças causadas por microbactérias: uma revisão de trabalhos. **Revista Máquinas e Metais**, São Paulo, n. 492, Janeiro de 2007, p. 96-109.

ZEILMANN, R. P. **Furação de liga de titânio com mínimas quantidades de fluido de corte**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003, 207 p.

ZEILMANN, R. P.; CALZA, M.; THOMÉ, A. Furação de aço endurecido com brocas de aço-rápido. **IN: 8º CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ENGENHARIA MECÂNICA**, 2007, Cusco – Peru.