

# INFLUÊNCIA DO PROCESSO DE ELETROEROSÃO A FIO NAS PROPRIEDADES DO AÇO AISI D6<sup>1</sup>

Piter Alves Sousa<sup>2</sup>

## Resumo

Atualmente, a elevada competitividade dentro do setor metal-mecânico exige, além da qualidade do produto, considerada um fator obrigatório, prazos de entrega cada vez menores. Por este motivo, as buscas por novas tecnologias e definições de rotas de fabricação de ferramentas otimizadas passaram a exercer um papel importante dentro do planejamento de empresas do setor. Nos processos de usinagem, por exemplo, estão envolvidos além de elevados custos de processo, um lead time relativamente alto quando comparados com outras etapas, como tratamento térmico e aplicação de revestimentos PVD. Nas ferramentas direcionadas aos processos de conformação a frio, a aplicação de aços de alto cromo e alto carbono, como o AISI D6 apresenta grande aceitação, principalmente no mercado nacional, onde, os tempos de usinagem podem ser reduzidos através da eletroerosão a fio, considerada uma interessante alternativa por toda a versatilidade e velocidade do processo. Este trabalho realiza uma análise sobre os efeitos da eletroerosão a fio na microestrutura e dureza do aço AISI D6. A microestrutura composta por carbonetos de cromo primários e as baixas temperaturas de revenimento para as faixas de dureza usuais são pontos críticos, que podem resultar em falhas prematuras da ferramenta, quando associadas à camada branca da eletroerosão e impossibilidade de um alívio de tensões eficiente.

**Palavras-chave:** Eletroerosão a fio; Aço AISI D6; Conformação a frio.

## INFLUENCE OF WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING (WEDM) IN THE PROPERTIES OF AISI D6

### Abstract

Currently, the raised competitiveness inside of the sector metal-mechanic demands, beyond the product quality, considered an obligator factor, stated periods of delivery each time lesser. For this reason, the searches for new technologies and definitions of optimized tools routes of manufacture had started an important paper of the planning of companies of the sector. In the machining processes, for example, involved beyond costs of process, a lead time relatively high, when compared with other stages, as heat treatment and PVD coating application. For tools directed to the cold work processes, the steels with high chromium, as the AISI D6 presents great acceptance, mainly in the national market, where, the machining times can be reduced through the WEDM, considered an interesting alternative for all the versatility and speed of the process. This work carries through an analysis on the effect of the WEDM in the microstructure and hardness of steel AISI D6. The composed microstructure for primary carbides of chromium and the low temperatures of tempering for the usual hardness are critical points, that can result in premature failure of the tool, when associates to the white layer of the WEDM and impossibility of an efficient stress relief.

**Key words:** Wire electrical discharge machining; AISI D6; Cold work.

<sup>1</sup> *Contribuição técnica ao 7º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 15 e 16 de julho de 2009, São Paulo, SP.*

<sup>2</sup> *Tecnólogo em Processos Metalúrgicos, Bodycote Brasimet Processamento Térmico S/A.*<sup>2</sup>

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de processos de eletroerosão para fabricação de ferramentas é considerada uma alternativa interessante para redução de tempos de processo e fabricação de peças com geometrias complexas, por ser possível a realização de usinagem após o tratamento térmico do material.<sup>(1)</sup> Como os aços ferramenta da série D apresentam grande quantidade de carbonetos, em função da adição de elementos de liga <sup>(2)</sup> e, as faixas de dureza usuais são consideravelmente elevadas, processos de usinagem por outro método dificilmente são economicamente viáveis <sup>(1)</sup>. Além disso, como a ferramenta é obtida a partir de um bloco já tratado, não há etapas adicionais de usinagem em função das distorções ocasionadas no tratamento térmico, devido às alterações microestruturais.

A eletroerosão a fio consiste, basicamente, na ionização ou carregamento elétrico de um fio comumente produzido com ligas a base de cobre, o qual atravessa o bloco submerso no fluido dielétrico em movimentos constantes, provocando descargas elétricas responsáveis pelo corte do material.<sup>(2,3)</sup> A temperatura de processo situa-se em faixas superiores a 2.500°C, o que resulta na formação de uma zona fundida, frágil e com elevada porosidade e formação de micro trincas, denominada camada branca.<sup>(1,3,4)</sup> Por ser prejudicial ao desempenho da ferramenta, há a necessidade de remoção desta camada através de processos de polimento e a realização de alívios de tensões posteriores à execução da eletroerosão, normalmente 50°C abaixo da temperatura do último revenimento.<sup>(1,5)</sup>

Por ser amplamente empregado na fabricação de matrizes e punções para trabalho a frio, há a necessidade de uma discussão sobre a influência da eletroerosão a fio nas propriedades do aço AISI D6. Classificado como aço alto cromo e alto carbono, o aço AISI D6 é caracterizado como um material frágil, por apresentar em sua microestrutura grande quantidade de carbonetos de cromo primários,<sup>(2,6)</sup> os quais influenciam no surgimento de trincas durante a eletroerosão a fio.<sup>(1)</sup> Outro fator importante a ser considerado é a temperatura de revenimento do aço AISI D6, que para as faixas usuais de aplicação, entre 58 e 62 HRC, não ultrapassam 300°C, sendo impossível à realização de um alívio de tensões eficiente após a eletroerosão.<sup>(1)</sup>

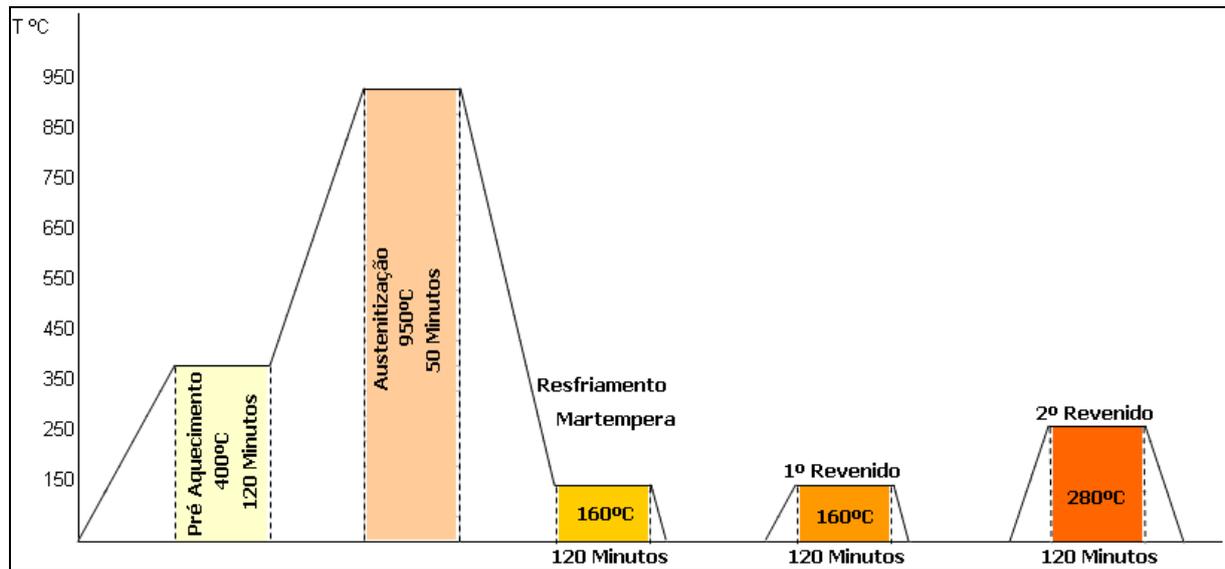
O objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da eletroerosão a fio na microestrutura e dureza do aço AISI D6, através da análise de dois blocos, temperados em banho de sal e revenidos para dureza de 59 HRC, nos quais foram realizados cortes pelo processo de eletroerosão a fio, simulando geometrias críticas, com presença de cantos vivos e variações de seções.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS EXPERIMENTAIS

Neste estudo, foram utilizados dois blocos confeccionados em aço AISI D6, com dimensões de 200 X 150 X 150 mm. O tratamento térmico aplicado ao bloco foi o de têmpera em banho de sal, seguido de duas etapas de revenimento para ajuste de dureza entre 58 HRC e 60 HRC. A Figura 1 ilustra o ciclo de tratamento térmico aplicado.

A execução do duplo revenimento tem por objetivo, além de aliviar as tensões internas do bloco e ajustar a sua dureza, a eliminação de austenita residual, presente em valores próximos a 30% no aço AISI D6 após a têmpera.<sup>(2,6)</sup> A presença de austenita residual em ferramentas de corte é prejudicial ao seu desempenho, onde a sua transformação em martensita pode ocorrer por processos de

encruamento, em trabalho, resultando em variações dimensionais e gerando tensões que podem levar à falha da ferramenta.<sup>(2)</sup>



**Figura 1.** Ciclo de tratamento térmico aplicado aos blocos em AISI D6.

O processo de eletroerosão a fio aplicado aos blocos foi realizado segundo os parâmetros apresentados na Tabela 1. O fluido dielétrico empregado foi água deionizada, sendo o fio composto por uma liga a base de cobre / zinco, com espessura de 0,25 mm. O tempo de pausa foi estabelecido, evitando a ruptura do fio durante o processo de eletroerosão.

**Tabela 1.** Parâmetros do processo de eletroerosão a fio.

Parâmetro	Valor Utilizado
Voltagem	80 V
Corrente	4 A
On-time / Off-time	1,2 / 11,4 $\mu$ s
Velocidade de corte	10 mm/min.
Potência	320 W

As análises executadas envolveram medições de dureza em escala Rockwell C (150 Kgf), análises metalográficas e determinação do perfil de dureza em escala de Vickers, com carga de 100 g. Os ensaios de dureza foram executados em um durômetro Mitutoyo 963-102 Hardness Tester, realizados na superfície e no núcleo, para verificação da homogeneidade dos blocos após o tratamento térmico.

As análises metalográficas foram realizadas por microscopia óptica convencional, utilizando um microscópio Union Versamet-2. A metalografia foi adotada para determinação da microestrutura resultante do tratamento térmico e avaliação do efeito do processo de eletroerosão a fio na superfície de contato fio / material. A determinação do perfil de dureza, realizado em escala Vickers foi realizada em um durômetro HXD 1000 TM Pantec, para avaliar a influência da temperatura da eletroerosão a fio na dureza dos blocos em análise.

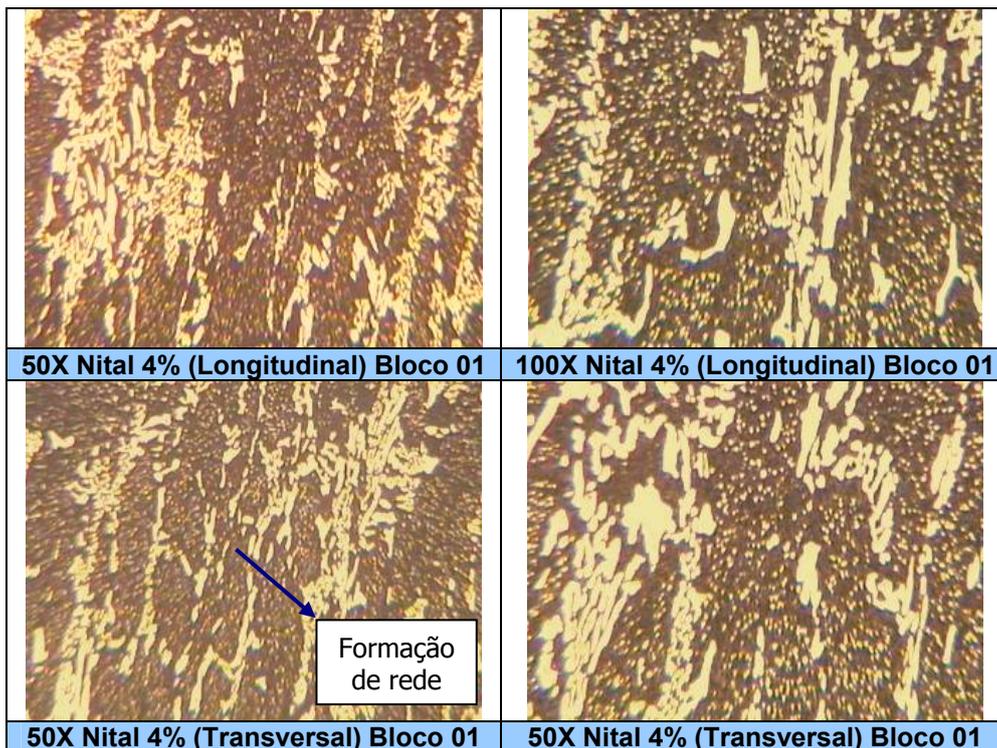
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de dureza superficial encontrados nos blocos após o tratamento térmico de têmpera em banho de sal e revenimentos seguem apresentados na tabela 2. A faixa de dureza especificada foi definida por ser considerada como a tipicamente empregada em aços para trabalho a frio aplicados às ferramentas de corte.

**Tabela 2.** Dureza dos blocos após tratamento térmico

Identificação do bloco	Região de análise	Dureza encontrada
Bloco 01	Dureza Superficial	59 a 60 HRC
	Dureza Núcleo	58 a 60 HRC
Bloco 02	Dureza Superficial	59 a 60 HRC
	Dureza Núcleo	58 a 59 HRC

As análises metalográficas realizadas para verificação da microestrutura após tratamento térmico são apresentadas nas Figuras 2 e 3. As microestruturas dos dois blocos apresentaram-se martensítica revenida, com grande quantidade de carbonetos de cromo primários, comuns ao aço AISI D6. Esta grande quantidade de carbonetos resulta em fragilidade, conferindo ao aço AISI D6 baixos valores de tenacidade, porém, com elevada resistência ao desgaste.



**Figura 2.** Análise metalográfica bloco 01.

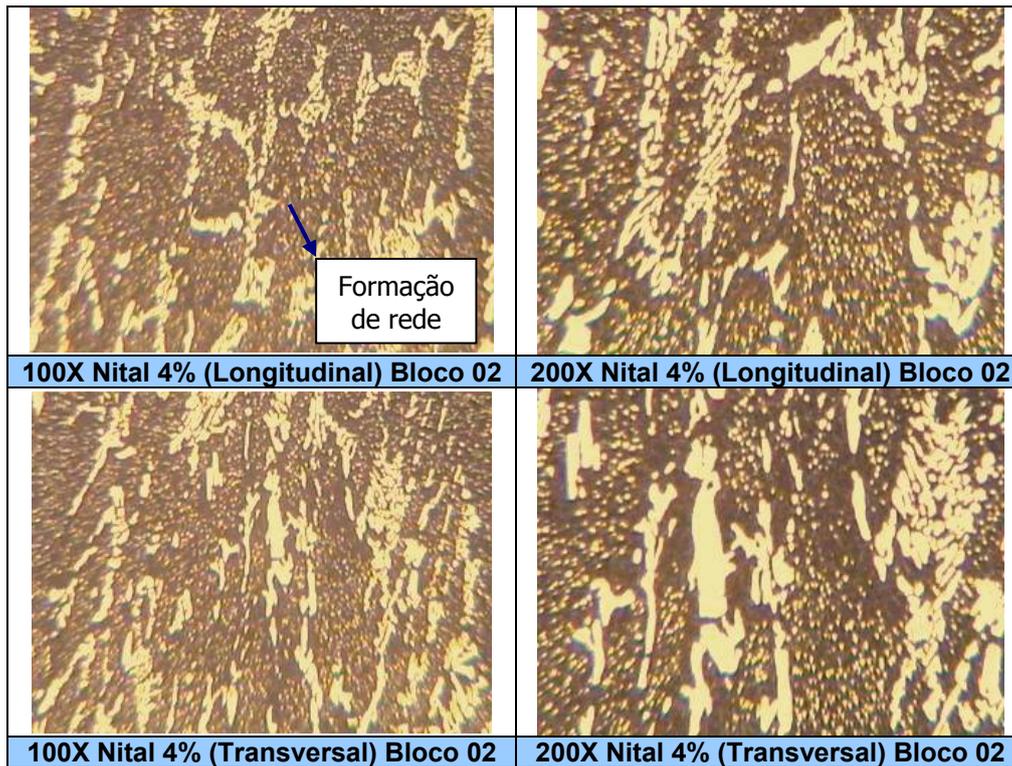


Figura 3. Análise metalográfica bloco 02.

A identificação de carbonetos tendendo à formação de redes está diretamente relacionada com o grau de deformação dos blocos em análise. O processo de solidificação do aço AISI D6 ocorre fora do equilíbrio em função dos elevados teores de carbono (aproximadamente 2%) e cromo (aproximadamente 12%), sendo susceptíveis a segregação. A quebra destas redes de carbonetos pode ocorrer através de processos de conformação a quente, como forjamento ou laminação.

Após tratamento térmico, os dois blocos foram encaminhados para a eletroerosão a fio, onde os parâmetros de processo foram adotados conforme a Tabela 1. Durante o corte dos blocos para extração do primeiro corpo de prova, houve o surgimento de trincas originadas no ponto de entrada do fio e nas regiões de cantos vivos. A Figura 4 apresenta as regiões trincadas.

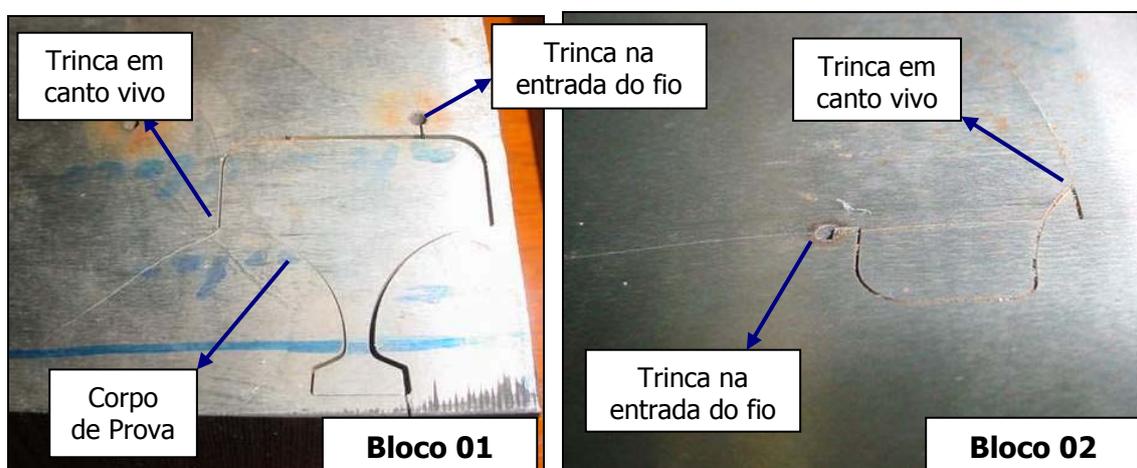


Figura 4. Trincas originadas nas regiões de entrada do fio e em cantos vivos.

As regiões de entrada do fio para a eletroerosão e os cantos vivos, são consideradas zonas com elevada concentração de tensões, agravadas pela microestrutura do material, a qual apresenta grande quantidade de carbonetos primários, que prejudicam a tenacidade do AISI D6. A Figura 5 apresenta as análises metalográficas dos blocos na região afetada pela eletroerosão a fio.

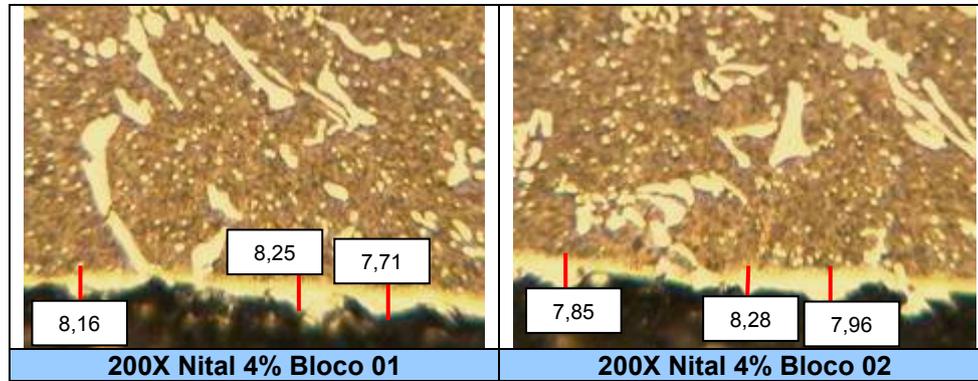


Figura 5. Análise metalográfica bloco 02.

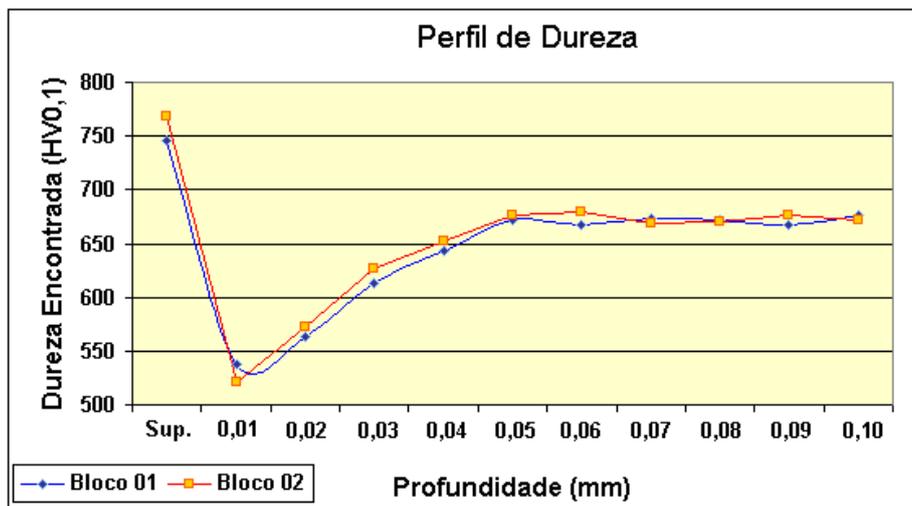
A camada branca encontrada com espessura variando de 7,71 microns a 8,28 microns é proveniente do processo de eletroerosão, onde as elevadas temperaturas na superfície de contato fio / material ocasionam a vaporização da superfície do aço e, conseqüentemente, resulta no surgimento de uma zona afetada pela temperatura do processo. A remoção desta camada é necessária, uma vez que sua extensão apresenta porosidades e micro trincas, além da característica frágil, que comprometem o desempenho do ferramental durante sua aplicação.

A espessura da camada branca está diretamente relacionada com as taxas de remoções aplicadas na eletroerosão onde, embora o processo realizado a fio apresente menores danos superficiais quando comparado com o processo por penetração, por utilizar potências mais baixas e atingir áreas menores, são problemáticas para os aços da série D. A Figura 6 apresenta uma análise de espessuras de camada branca em função das taxas de remoção aplicadas no aço AISI D2, onde taxas consideravelmente elevadas, resultam no surgimento de micro trincas.

	Taxa de remoção: 10 $\mu$ s Eletrodo: Grafite Espessura da camada branca: 3 $\mu$ m Aumento: 500X
	Taxa de remoção: 200 $\mu$ s Eletrodo: Grafite Espessura da camada branca: 15 $\mu$ m Aumento: 500X
	Taxa de remoção: 500 $\mu$ s Eletrodo: Grafite Espessura da camada branca: 22 $\mu$ m Aumento: 500X

**Figura 6.** Formação da camada branca em função da taxa de remoção

A Figura 7 apresenta a curva do perfil de dureza realizada a partir da face de contato do fio, para avaliar a influência da temperatura do processo na dureza obtida com a têmpera e revenimento.



**Figura 7.** Perfil de dureza das amostras retiradas dos blocos por eletroerosão a fio.

A curva permite a observação de três zonas distintas: A zona retemperada, a zona re-revenida e a zona não afetada pela temperatura do processo de eletroerosão. A zona retemperada corresponde à região onde a temperatura de processo ultrapassou a faixa de austenitização, sendo imediatamente resfriada pela ação do fluido dielétrico, o que resultou em uma nova têmpera na superfície do bloco, elevando sua dureza e transformando a microestrutura em martensita grosseira.

A zona re-revenida corresponde à região que teve sua temperatura elevada acima da utilizada na última etapa de revenimento do bloco, reduzindo a dureza na região afetada. Por existir influência da eletroerosão a fio, pela temperatura do processo, há a necessidade da realização de um alívio de tensões, considerado crítico para o aço AISI D6. Por serem empregadas temperaturas de revenimento inferiores a 300°C, para as faixas de dureza usuais do material, o alívio de tensões pós eletroerosão, para homogeneizar a microestrutura da superfície afetada pela temperatura do processo e eliminar as tensões geradas pela passagem do fio, não é eficiente,

#### **4 CONCLUSÕES**

O processo de eletroerosão a fio realizado no aço AISI D6 apresenta algumas limitações devido às características do material, onde a grande quantidade de carbonetos de cromo, o torna susceptível ao surgimento de trincas em regiões com grande concentração de tensões, como cantos vivos e na região de entrada do fio. As dimensões do bloco a partir do qual a ferramenta será extraída também tem influência direta nos mecanismos de surgimento e propagação das trincas, onde blocos com grandes dimensões apresentam um menor grau de deformação, o que torna a distribuição dos carbonetos menos favoráveis tanto para o processo de eletroerosão a fio, quanto para o desempenho da ferramenta em utilização.

Após a execução da eletroerosão a fio, se faz necessária a realização de um polimento para remoção da camada branca, intrínseca do processo em função das elevadas temperaturas atingidas na superfície de contato fio / material, também sendo necessária a realização de um alívio de tensões para homogeneização da microestrutura das zonas afetadas pelo processo. Entretanto, o alívio de tensões no caso específico do aço AISI D6 é considerado crítico, onde as faixas usuais de dureza, superiores a 58 HRC, são alcançadas com temperaturas de revenimento próximas a 280°C, o que impossibilita a realização de um alívio de tensões eficiente.

Sendo assim, considera-se que a obtenção de ferramentas em aço AISI D6 pelo processo de eletroerosão a fio deve ser avaliada, conhecendo todas as limitações do material e evitando ao máximo pontos concentradores de tensões, que em conjunto com os carbonetos grosseiros e as elevadas temperaturas atingidas no processo, podem contribuir para a falha prematura da ferramenta. A escolha de blocos de partida menores também deve ser objetivada, associada a uma análise prévia da microestrutura, antes da execução do tratamento térmico.

#### **REFERÊNCIAS**

- 1 YOSHIDA, S.: A influência dos processos de eletroerosão no rendimento de ferramentas – Problemas e soluções. Brasimet comércio e indústria S.A., São Paulo, 2002.
- 2 SILVA, André Luiz V. da Costa e; MEI, Paulo Roberto: Aços e ligas especiais. Edgard Blücher, 2006.
- 3 ASM Handbook: Volume 16 – Machining, ASM International, 2002.
- 4 SÁNCHEZ, J. A.: Integridade superficial de peças cortadas por fio: Estudo dos danos produzidos pela electroerosão por fio em aços ferramentas. EDM World, 2002.
- 5 KAMADA, H.: Aços para trabalho a frio. Uddeholm aços especiais, 4ªEd, São Paulo, 2003.
- 6 AMERICAN SOCIETY FOR METALS: Heat treater's guide: Standard practices and procedures for steel, 1982.