Unisanta Science and Technology, **2017, 3, July**
Published Online 2017 Vol.6 N°1 http://periodicos.unisanta.br/index.php/sat)

UNISANTA
Science and Technology
ISSN 2317-1316

Análise Experimental da Influência do Tratamento Térmico na Usinagem por Eletroerosão de Aços Ferramenta

Daniel Alves Sodré[1] e Willy Ank de Morais[1,2]

UNISANTA[1] – Universidade Santa Cecília – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica - PPGEMec
Rua Oswaldo Cruz, 266 - Santos-SP, Brasil - CEP: 11045-100

WILLY ANK SOLUÇÕES [2] – Departamento Técnico
Rua Onze de Junho, 312 A.102 - São Vicente-SP, Brasil- CEP: 11320-160

E-mail*:* danielsodre@uol.com.br
Received dec, 2016

Resumo: A eletroerosão por penetração é considerada um processo de fabricação não convencional sendo utilizado na usinagem de materiais condutores, permitindo a confecção de componentes metálicos nas mais variadas condições de tratamento termo mecânico e durezas. Este é um dos principais processos utilizados pela indústria de ferramentaria, devido à sua precisão dimensional, rugosidade e integridade superficial superiores. Entretanto, os parâmetros de regulagem das máquinas e execução deste processo não consideram o tratamento térmico ou a dureza das peças como uma variável. Desta forma, o objetivo deste trabalho é avaliar o comportamento dos aços ABNT NM 122 grau D2 e grau O1 com e sem tratamento térmico de têmpera e revenimento usinados por eletroerosão. Observou-se uma variação dimensional, de rugosidade e integridade superficial entre as amostras.

Palavras chave: Eletroerosão por penetração; usinagem; tratamento térmico.

Experimental Analysis of the Influence of Thermal Treatment on Electrical Discharge Machining of Tool Steels

Abstract: The Electrical Discharge Machining (EDM) is considered an unconventional manufacturing process, being used in the machining of conductive materials allowing the preparation of metal components in the most varied conditions of mechanical term treatment and hardness. This is one of the main processes used by the tooling industry, due its dimensional accuracy, surface roughness and superior surface integrity. However, the parameters used for control of machinery and execution of this process do not consider heat treatment or hardness of parts as a variable. Thus, the objective of this study is to evaluate the behavior of ABNT NM 122 grade D2 and grade O1 steels with and without heat treatment quenching and tempering machined electro. It was observed a dimensional variation, and surface roughness integrity between the samples was observed.

Keywords: Electrical discharge machining; EDM by penetration; machining; heat treatment.

1. Introdução

A exigência por estampos de conformação cada vez mais resistentes e duradouros tem feito com que projetistas especifiquem materiais especiais nos moldes e matrizes que até então eram fabricados em aços com menor teor de carbono e poucos elementos de liga.

Outro ponto a ser observado nestes componentes é a qualidade da rugosidade ou a presença de micro trincas,

Copyright © 2017 ISESC.

oriundas dos diversos processos de usinagem. Segundo Oliveira [1], as superfícies geradas pelos processos de fabricação não são perfeitas, gerando irregularidades meso e microscópicas.

Estas irregularidades podem se propagar ao longo do punção/matriz ocasionando a diminuição da vida útil do componente ou até mesmo sua fratura. Ainda que uma falha não ocorra, estas deformidades superficiais serão inevitavelmente transferidas para o produto, prejudicando assim, sua qualidade final.

As tolerâncias dimensionais necessárias para este tipo de usinagem podem chegar à casa dos milésimos de milímetros (μm), em função da precisão imposta pelo projeto [2]. Esta precisão, obtida durante a usinagem dos moldes, garantirá o perfeito funcionamento de matrizes e a obtenção da qualidade final necessária ao produto.

Para o atendimento das condições descritas anteriormente, têm-se empregado o processo de de usinagem por descargas elétricas (*Electrical Discharge Machining - EDM*), sendo assim amplamente empregado na fabricação de peças compostas por materiais que apresentam usinabilidade deficiente pelos processos convencionais [3, 4], na obtenção de geometrias complexas e com elevada precisão dimensional. Os componentes fabricados pelo processo *EDM* são empregados como ferramentas para a confecção dos mais variados tipos de produtos, desde peças plásticas, que compõem um telefone celular, até as complexas partes estampadas em aço, empregada na carroceria dos mais modernos veículos [5].

Os pontos fortes da usinagem pelo processo *EDM*, ou seja, a rugosidade superficial e a tolerância de forma, dependem, entre outras coisas, do regime de trabalho adotado pelo operador do equipamento.

Esta condição, por sua vez, é função do tipo de material da peça e do eletrodo-ferramenta empregados, conforme a teoria da eletroerosão [6].

1.1 Teoria da Eletroerosão

A Figura 1 apresenta o equipamento *EDM* empregado neste trabalho, indicando suas principais partes [7].

O *EDM* é considerado um processo não convencional de usinagem cuja remoção de material se dá através de descargas elétricas de alta frequência. Estas descargas que geram fusão e vaporização dos materiais eletricamente condutores envolvidos no processo [8].

O princípio de funcionamento do processo *EDM* ocorre em função da aproximação de dois eletrodos, com polaridades diferentes, submersos em um meio dielétrico até uma determinada distância crítica designada *GAP* [9]. Quando estes eletrodos se aproximam, um processo de formação de descarga elétrica tem início transferindo para a peça a forma do eletrodo ferramenta.

Dentre as várias teorias existentes, a termoelétrica é a mais aceita para explicar o que ocorre durante a remoção do material na *EDM* [10].

Por esta teoria, o ciclo do processo *EDM* é divido em 4 fases distintas:

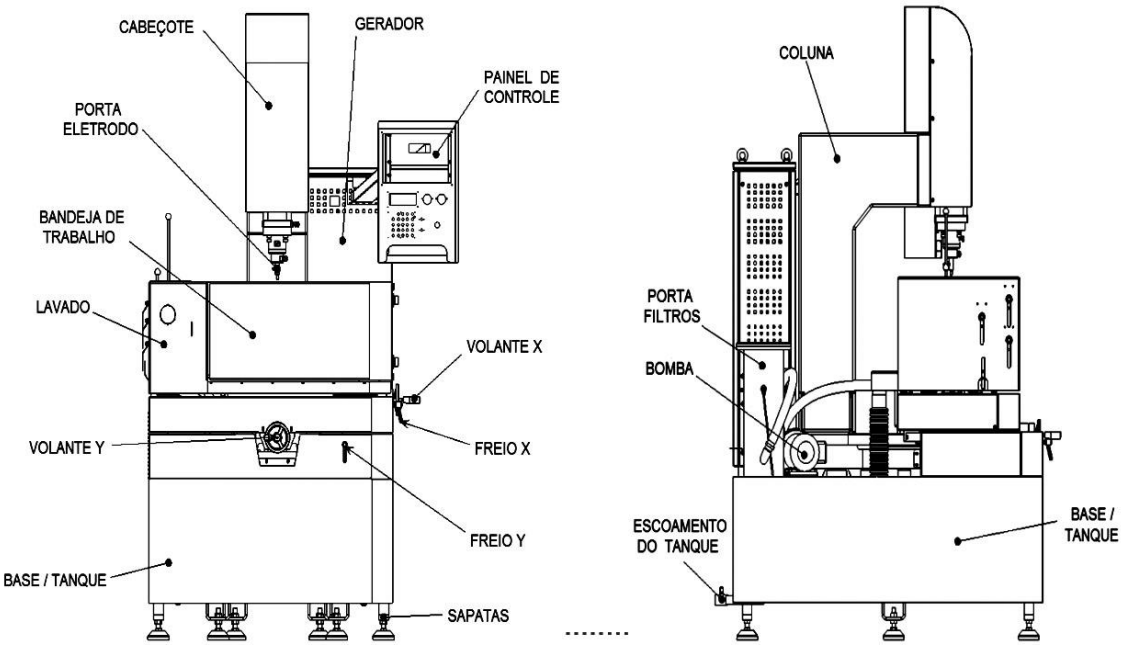


Figura 1. Principais partes de uma máquina de eletroerosão por penetração como a empregada neste trabalho [8].

Copyright © 2017 ISESC

Fase 1 - Ignição;
Fase 2 - Formação do canal de plasma;
Fase 3 - Fusão e evaporação do material dos eletrodos;
Fase 4 - Ejeção do material fundido.

Descoeudres [11] oferece outra explicação ao processo, considerando-o dividido em cinco fases, conforme ilustrado pela Figura 2. A chamada de pré-ignição (fase 1), ocorre quando a voltagem é aplicada entre os dois eletrodos (ferramenta e peças). Com a desagregação dielétrica, ocorre a formação do canal de plasma (fase 2). Em seguida, ocorre a descarga, o aquecimento, a fusão e a vaporização dos materiais das superfícies dos eletrodos (fase 3). Posteriormente, o canal de plasma é finalizado pela sua implosão e remoção do material aquecido nas superficies (fase 4). Por fim, ocorre a limpeza das partículas erodidas que são removidas pelo dielétrico (fase 5). Essas fases estão diretamente relacionadas aos tempos de aplicação de tensão e de corrente, conforme os gráficos teóricos mostrados na Figura 2.

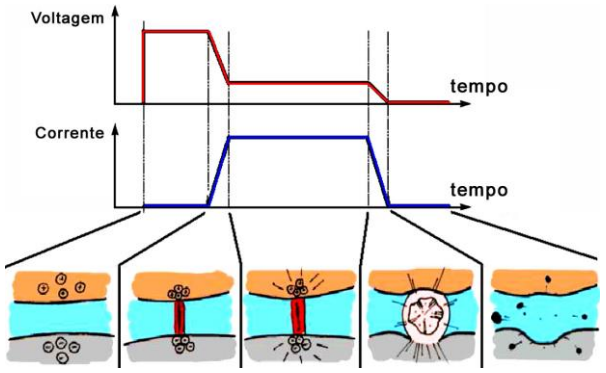


Figura 2. Fases de uma descarga elétrica durante o processo de eletroerosão, adaptado de Descoeudres [11].

Santos [6] oferece uma descrição mais sucinta para o processo *EDM*, reiterando que retirada de material ocorre pelo bombardeamento de íons ou elétrons contra a superfície da peça. Desta forma a extração do material ocorre por sublimação, levando à formação de cavidades profundas e tridimensionais.

Como pode ser percebido pelas várias teorias existentes, a remoção de material por meio de eletricidade é bastante complexa. Em função da forma na qual o processo se desenvolve, existem determinados parâmetros elétricos que são empregados no controle do processo *EDM*. Estes parâmetros, ilustrados na Figura 3, são regulados segundo uma ampla faixa de variação em função do tipo de máquina de eletroerosão [5]:

1. $\hat{U}_i$**: tensão em aberto** [V] - tensão na fenda de trabalho, quando não há fluxo de corrente;
2. $\bar{U}_e$**: tensão média da descarga** [V] - representa a tensão na fenda, no decorrer da centelha;
3. **U: tensão média de trabalho** [V] - média aritmética da tensão na fenda de trabalho durante uma operação de usinagem;
4. t_d **- tempo de retardo de ignição** [µs] - intervalo de tempo desde a aplicação da tensão em aberto, até o início da descarga;
5. t_e **- duração da descarga** [µs] - período de tempo decorrido após o rompimento da rigidez do dielétrico, quando ocorre o fluxo efetivo de corrente;
6. t_i **- duração do pulso de tensão** [µs] - representa o tempo de aplicação de tensão na fenda de trabalho, correspondendo à soma do tempo de ignição t_d mais duração da descarga t_e;
7. t_o **- tempo de intervalo entre dois sucessivos pulsos de tensão** t_i [µs];
8. t_p **- tempo de período do ciclo de uma descarga** [µs] - representa a soma da duração do pulso de tensão ti, mais o tempo de intervalo to;
9. $\hat{i}_e$ **- corrente máxima durante a descarga** [A];
10. i_e **- corrente média durante a descarga** [A]:
11. **τ - relação de contato** - representa a razão entre o tempo de pulso ti, e o tempo de período do ciclo da descarga tp

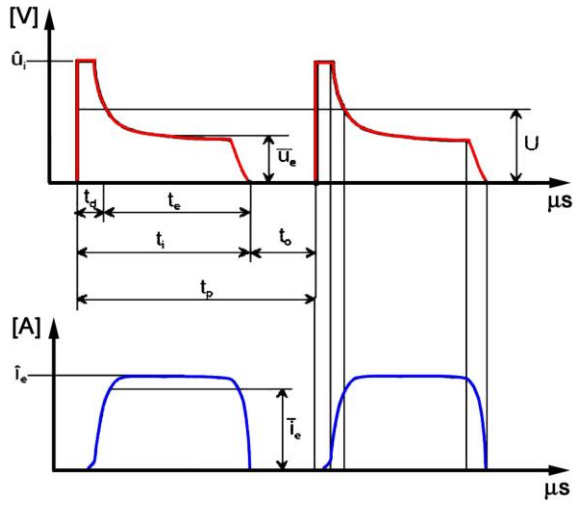


Figura 3. Evolução da tensão e corrente durante o ciclo de uma descarga, adaptado de Amorin [10].

Como ponto em comum a todas as teorias, ocorre um aumento significativo da temperatura na região da descarga, causando a fusão e a evaporação do material. As temperaturas na área usinada podem variar entre 10.000

Copyright © 2017 ISESC

a 50.000°C na Fase 3 [10, 11], podendo possivelmente provocar alterações na superfície usinada devido à formação de uma zona termicamente afetada (ZTA) gerando uma "camada branca" que é consequência da ressolidificação do material em função do resfriamento brusco feito pelo fluido dielétrico ao final da descarga [6].

De acordo com a teoria de eletroerosão, as propriedades mecânicas da peça e do eletrodo-ferramenta, influenciam muito pouco no processo, ao contrário do que ocorre com as propriedades termofísicas influenciam consideravelmente o processo, especificamente: a condutividade térmica e elétrica, a expansão térmica, a temperatura de fusão e de ebulição [5, 6, 13].

1.2 O Processo da Eletroerosão

Segundo Amorim [5], há dois tipos básicos de operações de eletroerosão: a eletroerosão por penetração e a eletroerosão a fio. O processo *EDM* por penetração, que é o foco deste trabalho, a geometria da peça é dada pelo avanço do eletrodo-ferramenta na cavidade em formação.

No processo *EDM* a fio é usado um fio bobinado que desenrola continuamente, sendo a peça produzida pelo movimento relativo entre o fio e a peça.

Em relação ao sistema elétrico, o mesmo é composto pelo gerador de pulsos, sistemas de controle do avanço e posicionamento entre os eletrodos-ferramenta/peça e cabos de alimentação de energia.

O sistema mecânico é responsável pelo movimento relativo entre os eletrodos–ferramenta/peça. O conjunto do sistema dielétrico representado pelo reservatório, cuba de trabalho, filtros e moto-bomba, é encarregado da limpeza e da alimentação do fluído dielétrico no ambiente de usinagem conforme apresentado na Figura 4.

Na eletroerosão por penetração, o eletrodo possui a geometria recíproca da cavidade desejada a ser obtida na superfície. Como não há contato mecânico entre a ferramenta e a peça, conforme ilustrado na Figura 2, evita-se, assim, a formação de tensões residuais e outros problemas gerais de natureza mecânica.

Alguns exemplos de condições adversas evitadas pela eletroerosão e que estão presentes nos demais tipos de usinagem, são a deformação plástica superficial, trincas oriundas pelo arrancamento de cavacos, necessidade de ferramentas e configurações variadas para executar geometrias complexas [2, 5, 10, 13].

Conforme Guitrau [14], a eletroerosão por penetração é um processo de usinagem amplamente aplicada nas indústrias aeronáutica e aeroespacial, médica, equipamentos ópticos e eletrônicos e na indústria de ferramentaria em geral.

De acordo com Müller [15], o processo de eletroerosão é o quarto método de usinagem mais popular, sendo os três primeiros o fresamento, o torneamento e a retificação.

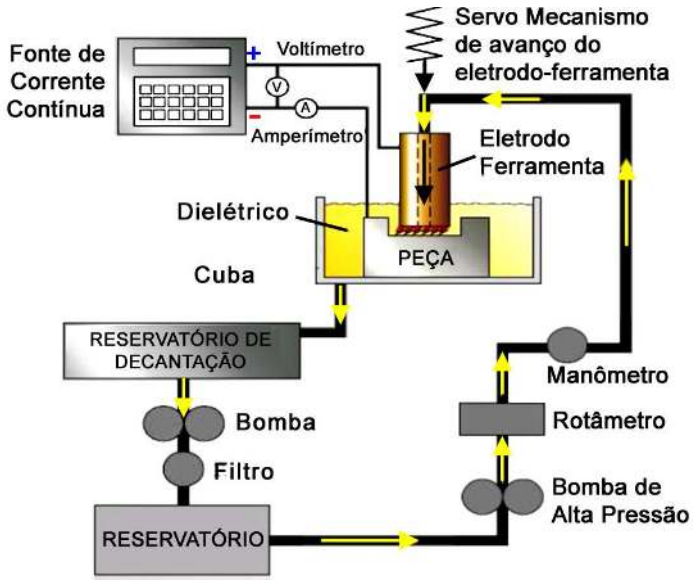


Figura 4. Exemplo de peça sendo usinada por eletroerosão por penetração, adaptado de [12].

Copyright © 2017 ISESC

1.3 Objetivo

Este estudo objetivou avaliar a influência do tratamento térmico de têmpera e revenimento no processo de usinagem por eletroerosão por penetração em dois aços ferramenta, de uso disseminado para a fabricação de moldes e matrizes. Com este objetivo, avaliou-se algumas condições obtidas a partir da usinagem de amostras dos dois aços estudados, nas condições como fornecido e após têmpera:

1. as dimensões obtidas pela usinagem em eletroerosão por penetração;
2. avaliado e comparado a rugosidade na região usinada;
3. avaliada e comparada a integridade superficial;
4. a associação dos parâmetros obtidos com a resistência elétrica das amostras.

2. Materiais e Métodos

O procedimento para a realização dos experimentos respeitou uma sequência de preparação de amostras desde a obtenção dos materiais brutos até a usinagem em eletroerosão e avaliação dos resultados, conforme ilustrado pela Figura 5. A execução da preparação, usinagem e algumas técnicas de caracterização experimental foram executadas nos laboratórios de mecânica e ferramentaria da Escola SENAI "Manuel Garcia Filho" em Diadema.

Os materiais selecionados como corpos de prova (CPs) para os experimentos foram os aços ABNT NM 122:2005 GRAU D2 e ABNT NM 122:2005 GRAU O1. Classificados como aços ferramenta para trabalho a frio, de vasta aplicação no setor metal-mecânico principalmente no segmento de corte e conformação a frio. Segundo a NM 122:2005 [16], os aços D2 e O1 devem apresentar a composição química conforme descrita pela Tabela 1.

Aço ABNT NM 122 GRAU D2 (%em peso)

C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V
1,40 - 1,60	0,60 (máx)	0,60 (máx)	11,0 - 13,0	0,30 (máx)	0,70 - 1,20	1,10 (máx)

Aço ABNT NM 122 GRAU O1 (%em peso)

C	Mn	Si	Cr	Ni	W	V
0,85 - 1,00	1,00 - 1,40	0,50 (máx)	0,40 - 0,60	0,30 (máx)	0,40 - 0,60	0,30 (máx)

Tabela 1. Composição química de norma dos aços ABNT NM 122 GRAU D2 e GRAU O1 [15].

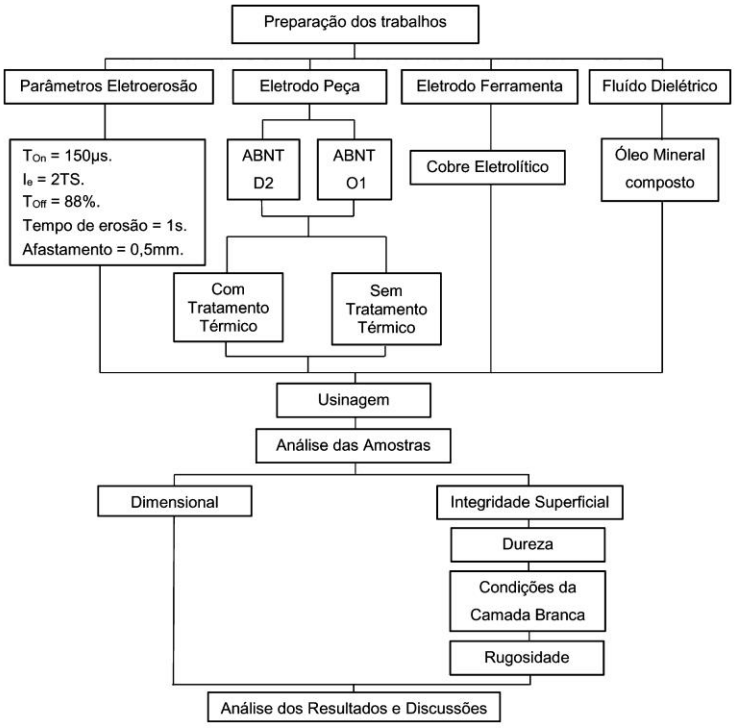


Figura 5. Fluxograma do procedimento experimental.

Copyright © 2017 ISESC

Foram preparadas oito amostras do aço O1 e oito de aço D2. O material bruto utilizado para a obtenção dos CPs de D2 foi uma barra laminada nas medidas de 1×5 in × 180 mm. Para o O1 foi utilizado um bloco de 3×3 in × 200 mm. As barras foram cortadas no sentido transversal e longitudinal (observando o sentido de laminação), de modo a obter amostras na medida bruta de 25,4×30,0×30,0 mm. Quatro corpos de prova (CPs) de cada aço receberam tratamento térmico para alívio de tensões seguido de têmpera e revenimento.

Os demais CPs foram mantidos na condição sem tratamento térmico. Após o beneficiamento as peças foram retificadas nas dimensões finais 25,0×25,0×20,0 mm e identificadas.

Como eletrodo ferramenta, foram preparados e devidamente identificados 16 eletrodos de cobre eletrolítico, um para cada CP, nas medidas de 9,52mm x 9,52mm x 28mm. Para fixação no cabeçote da máquina, hastes de aço ABNT NM 87:2000 Grau 52100 [17].

As amostras utilizadas neste trabalho foram usinadas em uma máquina de eletroerosão por penetração marca ELETRO modelo ZNC 400. Como fluido dielétrico foi utilizado um óleo mineral composto à base de hidrocarbonetos recomendado pelo fabricante da máquina e fornecido pela ITW CHEMICAL Ltda. O nível do dielétrico foi regulado a uma altura de aproximadamente 50 mm acima da peça e pressão da bomba (vide Fig. 4) aferida em 15.000 kgf/m² (aprox. 20 MPa).

Foram empregados os mesmos parâmetros de usinagem para a peças tratadas termicamente e não tratadas. Estes parâmetros foram obtidos da tabela tecnológica fornecida pelo fabricante do equipamento e reproduzida na Figura 6. Nota-se que as condições fornecidas não consideram as condições de tratamento térmico do aço.

A análise dimensional da região usinada foi efetuada através de um medidor tridimensional Tesa Micro-Hite, regulado e aferido com erro de 0,001 mm.

Foram realizadas quatro medições, em pontos aleatórios nos CPs.

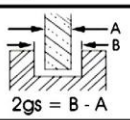
A rugosidade da região eletroerodida foi avaliada utilizando um rugosímetro Mitutoyo modelo SJ-201. Foram medidas a rugosidade máxima e a rugosidade média. O rugosímetro foi regulado com um comprimento de amostragem (*cut-off*) de 0,8 mm, sendo efetuadas quatro medições em direções aleatórias em cada CP.

A integridade superficial foi avaliada pela medição da dureza da camada branca e pela metalografia da região usinada. A Figura 7 ilustra o aspecto do CP usinado e as regiões empregadas para estas análises.

A resistência elétrica dos CPs, medida em ohms, foi quantificada através de um equipamento de medição de resistências marca Yokogawa modelo *Precision Double Bridge* 2752, montado com o CP em uma ponte de Kelvin, conforme ilustrado na Figura 8. Para a realização dos ensaios foram feitas quatro medições em cada CP, com valores fixos de tensão, em 5,0 V, e de corrente, em 100 mA.

Eletro — Manual de Instalação, Operação e Manutenção

ELETRODO: **Cobre (Eletrolítico)** POLARIDADE DO ELETRODO: **(+)**
PEÇA: **Aço** TENSÃO: **100V**



VALORES ESTABELECIDOS			RUGOSIDADE	REMOÇÃO MATERIAL	DESGASTE	SUBDIMENSIONAMENTO 2gs = B - A				CONDIÇÃO TESTE		
On	Ie	Dc	Rmax	Vw	Vv	PRESSÃO (mm)		SUCÇÃO (mm)		Vmin	Iav	Área
µs	QT	%	µm	mm³/min	%	2gs max	2gs	2gs max	2gs	Volt	A	Cm²
100	7	89	37	128	6.5	0.316	0.152	-	-	30	22	10
100	8	89	38	144	9	0.330	0.157	-	-	30	26	10
150	2	88	26	16	0.0	0.223	0.121	0.208	0.100	38	6.5	5
150	3	91	32	36	0.0	0.261	0.136	0.245	0.121	35	9.5	5
150	4	91	35	62	0.8	0.279	0.145	0.266	0.132	33	13	10

Figura 6. Tabela tecnológica fornecida pelo fabricante do equipamento de *EDM* com os parâmetros de usinagem empregados neste estudo [7].

Copyright © 2017 ISESC

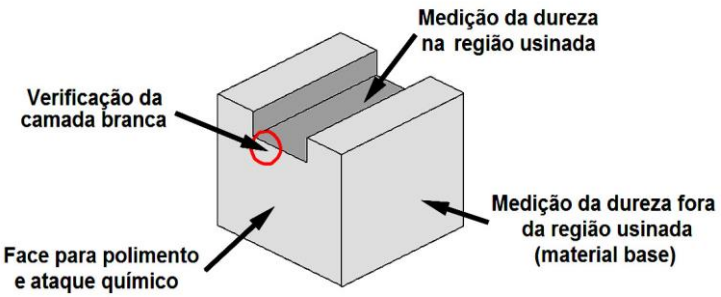


Figura 7. Indicação das regiões da amostra para análise da dureza e da integridade superficial.

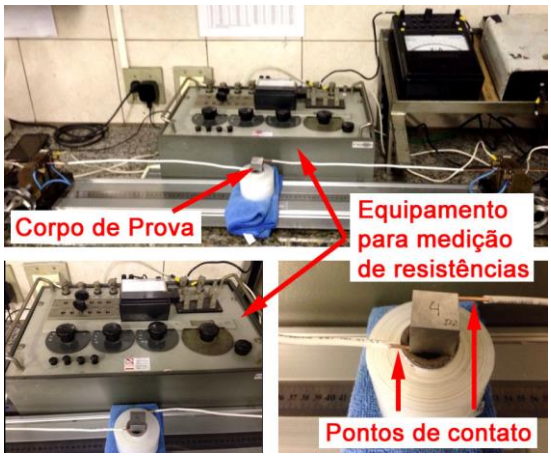


Figura 8. Configuração para medição da resistência

4. Resultados e Discussão

Os valores dimensionais, de dureza e da rugosidade, média e máxima, dos CPs são os parâmetros básicos empregados para analisar as principais correlações entras as variáveis empregadas neste trabalho.

A Figura 9 apresenta os resultados das medições de resistência elétrica em função do aço e de sua condição de beneficiamento. As amostras que receberam tratamento térmico apresentam valores de resistência elétrica maior do que os CPs que foram usinadas sem tratamento térmico.

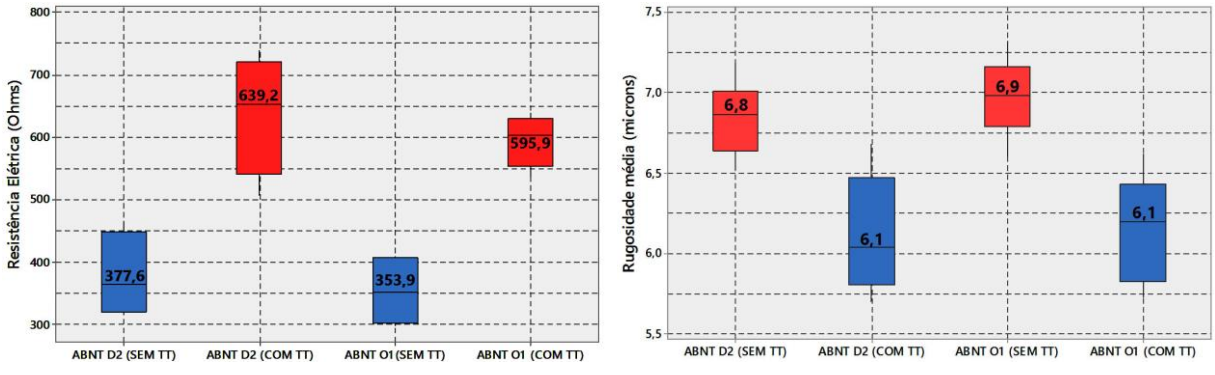


Figura 9. Variação da Resistência Elétrica (esquerda) e da Rugosidade Média (direita) verificada nos CPs.

Copyright © 2017 ISESC

Conforme indicado pela teoria [5, 6, 13], esta condição deve interferir no desempenho do processo *EDM*, o que pode ser percebido pelos valores de rugosidade média mesurados, também mostrados na Figura 9.

Foram medidos os valore de rugosidade média e máxima, ou de pico. Porém somente os valores de rugosidade média apresentaram uma correlação clara com as diferentes condições dos CPs. Isso indica que a rugosidade de pico, apesar de ser um parâmetro relevante ao processo, não consegue representa-lo com a sensibilidade necessária para se caracterizar materiais que deveriam ter desempenhos diferentes, conforme apontado pelas suas diferentes propriedades termofísicas.

Com base nos resultados obtidos, foi possível constatar que as peças que foram tratadas termicamente apresentaram-se com a largura do canal usinado menor que as demais. Tanto as peças de aço D2 como as do aço O1 apresentaram uma largura média 18 µm maior do que a largura obtida nas amostras tratadas termicamente, conforme pode ser visto no gráfico da direita da Figura 9. Esta diferença é relevante, pois mesmo uma variação dimensional da ordem de 18 µm pode afetar a qualidade dos ajustes dos moldes e matrizes e consequentemente a qualidade do produto final.

Maziero, Ferreira e Gubert [18] justificam que o tipo de diferença percebida nas experiências de 18 µm é relevante, pois muitos problemas relativos aos projetos dos moldes e estampos só são descobertos durante o seu uso durante a fabricação. Por exemplo, para fazer o ajuste de um punção com 10 mm de diâmetro na qualidade G6, conforme a NBR 6158:1995 [19], é permitido um afastamento máximo de 14 µm.

A diferença registrada neste estudo, que é superior a esta especificação, inviabilizando o uso destes materiais e regulagem nesta aplicação.

A Figura 10 apresenta os resultados das medições de dureza dentro e fora do canal usinado. Verificou-se que dentro do canal usinado a dureza é maior do que no seu exterior.

Os trabalhos de Olinki [20], Neves e Souza [21] e Amorim [10, p.156] justificam estes valores de dureza superiores dentro do canal devido à deficiência da integridade superficial gerada em função às altas temperaturas envolvidas durante o processso *EDM*. Segundo Amorim [10], a dureza e a fragilidade da ZTA da eletroerosão é bem superior à da liga base. A partir da análise metalográfica, realizada nas amostras, evidenciou-se a presença da camada branca, oriunda da ressolidificação do material [6], na ZTA principalmente nos CPs dos aços na condição temperado e revenido, conforme ilustrado na Figura 11 para as amostras do aço D2.

Neste caso, os CPs de aço beneficiado necessitarão de maior quantidade de tratamento após o processo *EDM*.

Considerando que a resistência elétrica do material influencia diretamente o processo *EDM*, foram feitas

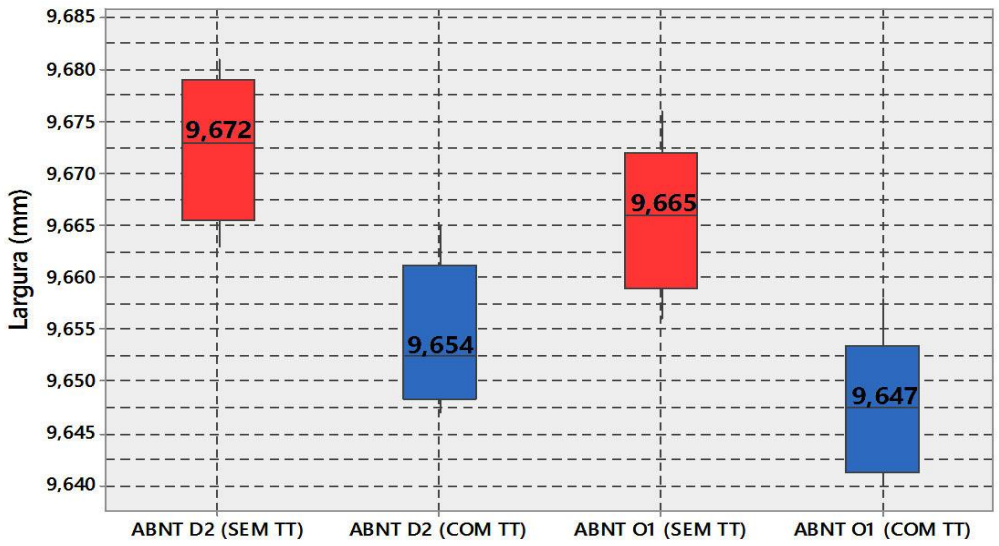


Figura 10. Variação da dureza dentro e fora do canal usinado.

Copyright © 2017 ISESC

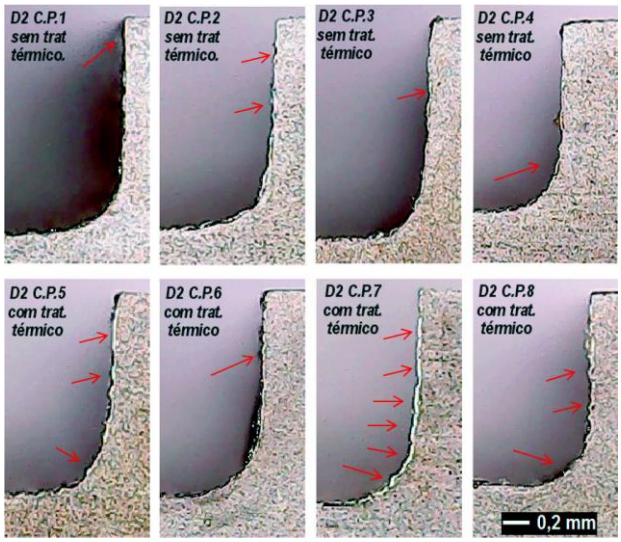


Figura 11. Presença da Camada branca nos CPs do Aço D2 (30×).

várias análises para verificar a interrelação entre a resistência elétrica e dureza do material com a largura e rugosidade do canal usinado. Segundo explicitado pelos valores dos coeficientes de correlação (R^2), a aderência entre os parâmetros geométricos da usinagem com a resistência elétrica é mais intensa (R^2 = 0,71±0,21) do que com a dureza (R^2 = 0,37±0,15).

Os gráficos da Figura 12 ilustram claramente esta tendência.

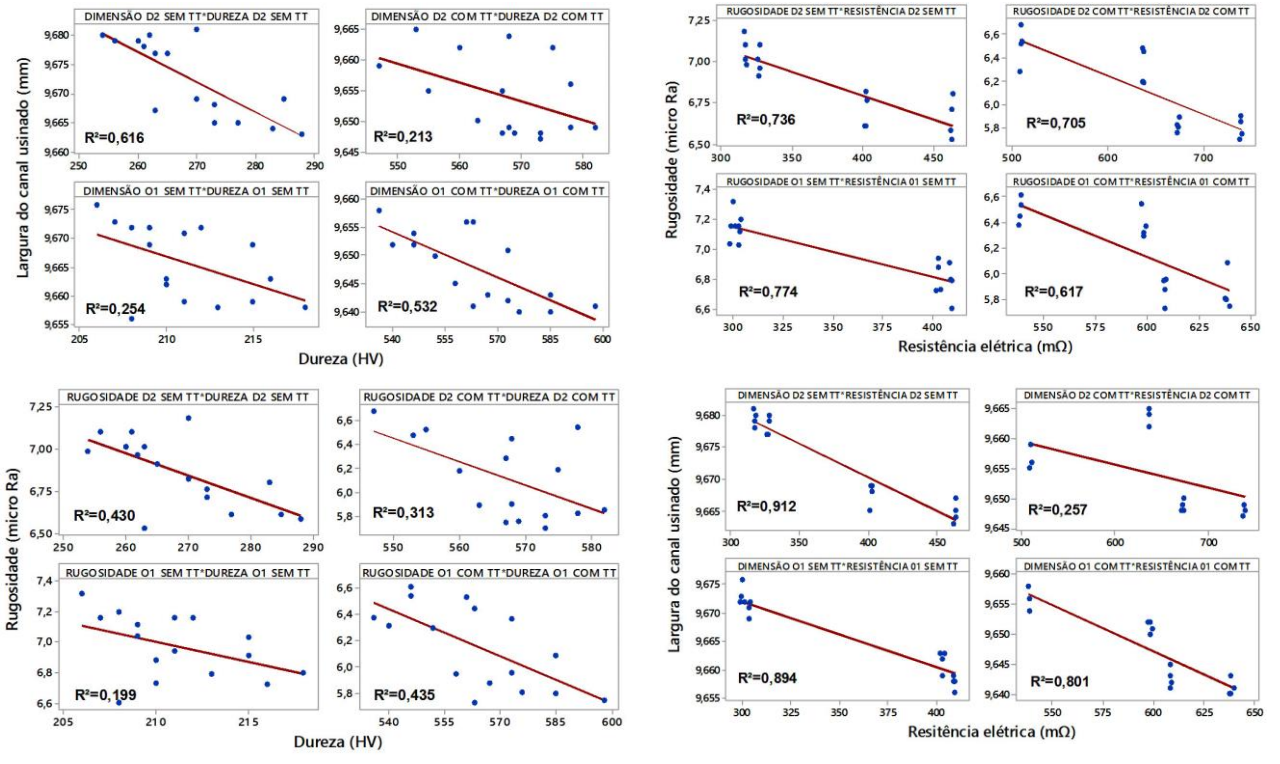


Figura 12. Relações entre a largura do canal (acima) e a rugosidade do canal usinado (abaixo) com a dureza (a esquerda) e a resistência elétrica (a direita) nas experiências realizadas neste trabalho.

Copyright © 2017 ISESC

5. Conclusões

Nas análises realizadas neste trabalho foi possível observar que o tratamento térmico tem influência direta no comportamento do processo de usinagem por eletroerosão, tanto em termos dimensionais quanto no acabamento superficial das peças. Da mesma forma, foi possível verificar que as peças tratadas termicamente apresentaram valores de resistência elétrica superior às sem tratamento térmico. Observou-se uma correlação entre as variações de resistência elétrica e as características dimensionais e de integridade superficial analisadas durante os experimentos. As variações verificadas devem ser consideradas no projeto da usinagem de moldes e matrizes, pois estas podem afetar aspectos importantes destes componentes causando dificuldades de montagem, diminuição da vida útil e até mesmo sua fratura prematura.

Agradecimentos

Os autores gostariam de expressar o seu agradecimento à Escola SENAI "Manuel Garcia Filho" de Diadema (SP), pelo oferecimento da maior parte da infraestrutura empregada na realização deste trabalho, assim como a Gustavo Paes Rangel, gerente de manutenção da Brascopper, quem providenciou o equipamento para as medições de resistência elétrica nas amostras testadas.

Referências

[1] OLIVEIRA C. J. Avaliação da Influência de Sistemas de Filtragem Aplicados a Topografia de Superfícies em Usinagens. Belo Horizonte: PUCMG, 2004, 123 p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

[2] FERES, F. Eletroerosão Possibilita Acabamentos Altamente Precisos. **O mundo da Usinagem**. n. 65, 2010. http://www.omundodausinagem.com.br/pdf/65.pdf (Acesso em 02 fev. 2017).

[3] LIMA, R. M. **Utilização de Fluidos Dielétricos à Base de Óleos Vegetais na Usinagem**. Uberlândia: UFU, 2008, 104 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2008.

[4] JOSHI A.; KOTHIYA, P. Investigating effects of process variables on MRR in EDM. International **Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering** (IJTARME). 2012: p. 6.

[5] AMORIM F. L. **Tecnologia de Eletroerosão por Penetração da Liga de Alumínio AMP 800 e da Liga de Cobre CuBe para Ferramentas de Moldagem de Materiais Plásticos**. Florianópolis: UFSC, 2002. 156 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

[6] SANTOS R.F. **Influência do Material da Peça e do Tratamento Térmico na Eletroerosão dos Aços AISI H13 e AISI D6**. Belo Horizonte: PUC-MG, 2007. 122 p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minhas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

[7] ELETRO. **Manual de operação, instalação e manuteção ZNC 400**. 2011. (Manual do Fabricante).

[8] EUBANK, P. T. et al. Theoretical models of the electrical discharge machining process III: the variable mass, cylindrical plasma mode. **Journal of Applied Physics**, USA, v. 73, n. 11, p. 7900-7909, jun. 1993.

[9] SILVA RD. **Comparação do Desempenho do Fluído Dielétrico Vegetal com Mineral Sintético e Querosene na Eletroerosão do Aço AISI H13**. Belo Horizonte: PUCMG, 2007. 110 p. Dissertação (Mestrado) – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

[10] AMORIM H. J. **Estudo da Relação entre Velocidade de corte, Desgaste de Ferramenta, Rugosidade e Forças de Usinagem em Torneamento com Ferramenta de Metal Duro**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

[11] DESCOEUDRES, A. **Characterization of electrical discharge machining plasmas**. These (Docteur ès sciences). 2006. 125f. École Polytechnique Federale de Lausanne, Lusanne.

[12] ARANTES, L. J.; SILVA, M. Avaliação de superfícies usinadas por diferentes fluidos dielétricos no processo de usinagem por eletroerosão. **Revista Escola de Minas**. Minas Gerais, Ouro Preto, v.56, n.2, pp. 91-96, 2003.

Copyright © 2017 ISESC

[13] HO, K. H.; NEWMAN, S. T. State of the Art Electrical Discharge Machining (EDM). **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, Vol. 43, 2003, p. 1287–1300.

[14] GUITRAU, E. P. **The EDM Handbook**. USA: Hanser Gardner Publications, 1997, 305 p.

[15] MULLER, A; CARVALHO, C. Análise da Usinagem por Eletroerosão com diferentes eletrodos-ferramentas. In: **VIII COBEF**, 2015. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação, Salvador (BA), 2015.

[16] ABNT NM 122. **Aços-rápido. Parte 1: Classificação, designação e composição química**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2005. p.3

[17] ABNT NM 87. **Aço carbono e ligados para construção mecânica - Designação e composição química**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2000. p.19

[18] MAZIERO, L.; FERREIRA, C. E.; GUBERT, É. Desenvolvimento de um banco de dados de tolerâncias. In: **XIV COBEM**, 1997. Anais do XIV Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. Bauru (SP), 1997. v. CD-ROM.

[19] ABNT NBR 6158. **Sistema de tolerâncias e ajustes**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1995. p.95

[20] OLINIKI R. **Influência da Combinação entre os Parâmetros de Usinagem por Eletroerosão na Integridade Superficial do Aço AISI H13 Temperado e Revenido**. Curitiba: UTFPR, 2009. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009. p.127.

[21] NEVES P.; SOUZA, O. Influência da Variação dos Parâmetros do Processo de Eletroerosão por Penetração no Desgaste do Eletrodo e na Produtividade no Desbaste do Aço Inoxidável 304 e do Inconel 718. In **VII COBEF**, 2013. Anais do 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação; Penedo (RJ), 2013. p.10.

Copyright © 2017 ISESC