

## AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO DESGASTE DE FACAS PICADORAS DE CANA-DE-AÇÚCAR REVESTIDA COM ARAMES TUBULARES AUTOPROTEGIDOS

Aldemi Coelho Lima, [acl@cefetgo.br](mailto:acl@cefetgo.br)<sup>1</sup>

Valtair Antonio Ferraresi, [valtairf@mecanica.ufu.br](mailto:valtairf@mecanica.ufu.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, CEFET-GO, Rua 75 nº 46, Setor Central, Goiânia-GO, Brasil, CEP 74055-110.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia, UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Caixa Postal 593, CEP 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

**Resumo:** A aplicação de revestimentos com o objetivo de reduzir o desgaste e consequentemente os custos, busca o incremento da vida em serviço dos componentes e na redução das paradas para manutenção. Uma correta seleção do material depositado permite, dentre outras coisas, transformarem elementos descartáveis por desgaste em bens de capital recuperável, aumentar a resistência e prover as superfícies susceptíveis ao desgaste de características e propriedades desejadas e, em geral, aumentar a eficiência do processo em que tomam parte os elementos reconstruídos e/ou protegidos. O objetivo deste trabalho é avaliar a resistência ao desgaste abrasivo de revestimentos duros depositados em camada única em facas picadoras de cana-de-açúcar. As facas foram construídas em laboratório e avaliada diretamente em uma indústria sucroalcooleira. Foram utilizados três arames tubulares de 1,6 mm de diâmetro de ligas FeCrC, FeCrC+Nb e FeCrC+T e um eletrodo revestido. Foi efetuada a soldagem no modo de transferência por curto-circuito com mesmos valores de corrente e tensão de soldagem. As facas foram montadas em um picador da indústria de cana-de-açúcar e após um período de 35 dias foram desmontadas e analisadas. Observou-se que o maior desgaste ocorreu na região de encontro do gume frontal com o gume superior, apesar de verificar também alguma perda de metal de base nas faces das facas na região de contato com a cana, além de alguma perda de pedaços de revestimento nas extremidades dos depósitos (arames FeCrC e FeCrC+Nb). Os valores da taxa de desgaste permitiu verificar que foi menor para as facas com revestimento FeCrC+Ti seguido do FeCrC e FeCrC+Nb, este com a maior perda de massa.

**Palavras-chave:** Arame tubular, revestimento duro, desgaste abrasivo, liga de FeCrC.

### 1. INTRODUÇÃO

O setor sucroalcooleiro vem apresentando grande expansão nos últimos anos no Brasil, em função da estabilidade do mercado mundial do açúcar e do aumento de consumo do etanol no mercado interno e pelo aumento da meta de utilização de biocombustíveis nos EUA, União Européia e Japão. O País é, portanto, o maior produtor de açúcar do mundo e o segundo maior produtor de etanol, atrás apenas dos EUA, cuja produtividade, a partir do milho, é bastante inferior. Por sua vez, a perda de material por mecanismos de desgaste representa um custo significativo para a operação de usinas de açúcar e destilarias de álcool, onde a deterioração das ferramentas é grande e a vida em serviço dos componentes é curta.

A redução da capacidade produtiva ocorre devido às paradas constantes para a substituição das peças desgastadas, bem como, pelos custos de recuperação das mesmas, envolvendo mão-de-obra, equipamentos e consumíveis de soldagem, dentre outros. Novas técnicas de soldagem e novos tipos de consumíveis (eletrodos) têm sido desenvolvidos para minimizar esses problemas. Uma correta seleção do material depositado permite, dentre outras coisas, transformar elementos descartáveis por desgaste em bens de capital recuperável, aumentar a resistência e prover as superfícies susceptíveis ao desgaste de características e propriedades desejadas e, em geral, aumentar a eficiência do processo em que tomam parte os elementos reconstruídos e/ou protegidos.

Verifica-se em usinas de açúcar e destilaria de álcool que os equipamentos que apresentam condições mais críticas do ponto de vista de desgaste abrasivo são: a mesa alimentadora, o nivelador, os roletes, as volanteiras, os mancais, o picador, o desfibrador e as moendas. Enquanto a maior parte dos equipamentos pode ser recuperada durante a entressafra (novembro a março, na região centro-sul), as facas picadoras e os martelos desfibradores precisam ser substituídos periodicamente, sendo os maiores responsáveis pelo curto ciclo de paradas programadas para sua substituição.

As facas picadoras, seguidas pelos martelos desfibradores, são as primeiras ferramentas a entrarem em contato com a cana-de-açúcar durante a preparação desta para a extração do caldo. Têm a função de cortar e desfibrar as células da mesma para possibilitar a maior eficiência na extração da sacarose nas moendas, estágio seguinte. Para aumentar a resistência ao desgaste, as ferramentas, geralmente construídas em aço carbono 1020 recebem a aplicação de uma camada de revestimento duro nas faces que entram em contato direto com a cana.

O desgaste acentuado dessas ferramentas se deve à elevada velocidade de impacto com a cana, na presença de elementos agressivos como areia, pedaços de madeira, raízes, pedras e ferro que são coletados durante o processo de carregamento. Além disso, acredita-se que fatores como a variedade da cana, a abrasividade do solo de cultivo, o método de colheita (manual ou mecanizada), a qualidade da lavagem da cana, dentre outros, possam ter influência relevante no volume de perda de massa das ferramentas.

O desgaste progressivo das facas picadoras e dos martelos desfibradores é responsável pela redução da eficiência na extração da sacarose, o que leva à realização das paradas programadas com o objetivo de realizar a sua substituição. Durante essas paradas, toda a produção é interrompida por um período de 8 a 12 horas, ocasionando uma significativa perda de produção, além do envolvimento de profissionais, materiais, ferramentas, equipamentos e consumíveis para a recuperação e substituição das ferramentas.

Após o período de trabalho, essas ferramentas são recuperadas por soldagem pela aplicação de revestimentos duros, utilizando-se diferentes processos, técnicas e consumíveis para a reposição do metal desgastado em serviço. Tradicionalmente, a aplicação de revestimentos duros pelo setor industrial tem sido feita manualmente com o processo Eletrodo Revestido ou de forma automática com o processo Arco Submerso, quando a geometria ou dimensões da peça se adequam a essa aplicação. Devido à sua maior produtividade em relação ao primeiro, aliada à maior versatilidade quando comparado ao segundo, o processo Arame Tubular tem se tornado uma alternativa importante, contando com uma grande variedade de consumíveis para diferentes aplicações de revestimentos duros.

Diversos trabalhos já foram desenvolvidos investigando a resistência ao desgaste de depósitos de soldas de revestimentos duros, como Martins Filho (1995), Hernandez (1997), Buchelly *et al* (2005), Corrêa *et al* (2007), Carceller (2007), dentre outros. Entretanto, esses trabalhos ficaram restritos a avaliações em laboratórios e investigaram revestimentos aplicados com eletrodos revestidos ou com arames tubulares não recomendados para aplicação nos tipos de ferramentas que ora se propõe.

Neste trabalho foram utilizados três tipos de arames tubulares autoprotégidos de liga ferro-cromo-carbono indicados pelo próprio fabricante para aplicações no setor sucroalcooleiro, especialmente, em facas e martelos desfibradores. A diferença entre os arames refere-se aos diferentes teores de carbono, cromo, silício e manganês, além da adição de nióbio no segundo e a adição de titânio e molibdênio no terceiro.

Devido à carência de estudos que apontem qual o tipo de arame mais indicado para a aplicação citada ou mesmo que façam uma análise comparativa entre o desempenho dos arames tubulares com os eletrodos revestidos tradicionalmente utilizados pelo setor, este trabalho se propõe a apresentar contribuição nesse sentido. O seu objetivo é, portanto, estudar a aplicação de revestimentos duros por soldagem com arames tubulares na resistência ao desgaste de facas picadoras de cana-de-açúcar. Isso é feito buscando apontar, a partir da identificação das particularidades da operação das facas quanto à resistência ao desgaste dos revestimentos, qual o arame com melhor desempenho em campo de forma comparativa com o eletrodo revestido considerado líder de mercado nessa aplicação.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

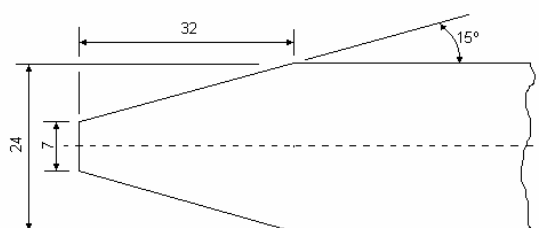
As soldas foram efetuadas com três arames tubulares autoprotégidos de 1,6 mm de diâmetro da liga FeCrC que diferem entre si pelos teores de ferro, cromo, carbono, silício e manganês, além da adição de Nb em uma liga e da adição de Ti e Mo em outra. O Eletrodo Revestido (ER) foi utilizado para a comparação com os arames tubulares, por ser o mais usado no setor. Doravante os consumíveis serão denominados, respectivamente, de FeCrC, +Nb, +Ti e ER1. A Tab. (1) apresenta a faixa de dureza a ser obtida pelo metal de solda em primeira camada, bem como, a composição típica dos arames, cujos dados foram obtidos em catálogo do fabricante.

**Tabela 1. Dados dos arames tubulares e do eletrodo revestido.**

Tipo de arame	Dureza HRc	Composição química (%)								
		C	Cr	Mn	Si	S	P	Nb	Mo	Ti
FeCrC	59-61	4,110	23,100	0,520	0,200	0,000	0,000	-	-	-
FeCrC+Nb	57-64	4,500	22,000	0,500	0,600	0,002	0,001	6,500	-	-
FeCrC+Ti	52-64	1,800	7,500	0,840	0,500	0,018	0,027	-	1,500	5,260
ER1	58-63	5,100	44,00	0,750	1,250	0,025	0,035	-	-	-

As 12 facas foram construídas em aço ABNT 1020, com dimensões finais de 24 x 180 x 580 mm. As chapas foram cortadas com maçarico e, posteriormente, fresadas para a obtenção do bisel ou gume com ângulo de 30°, na extremidade que entra em contato com a cana durante a picagem. A função do gume é diminuir a área de contato com a cana, facilitando a picagem e reduzindo a potência necessária para a execução da operação. Apesar dessa denominação, o gume não possui uma afiação como em ferramentas de corte convencionais, pois este não manteria o seu perfil, nem a

afiação, durante os longos períodos de trabalho. A Fig. (1) apresenta esboço com configuração e dimensões do bisel, onde são depositados os materiais de revestimento duro.



**Figura 1. Perfil e dimensões do bisel. (unidade mm).**

Foi utilizada uma fonte de soldagem eletrônica multiprocessado ajustada para soldar no modo de tensão constante, processo arame tubular. A Tab. (2) apresenta os parâmetros de soldagem utilizados. A indutância de subida e descida, a velocidade de alimentação do arame ( $V_{alim}$ ), a velocidade de soldagem ( $V_{sold}$ ) e a tensão de referência ( $U_r$ ) foram mantidas constantes, em condições que proporcionaram a transferência no modo curto-circuito. As condições de soldagem foram obtidas de trabalhos anteriores de Lima e Ferraresi (2006), com os respectivos arames. A distância bico de contato-peça (DBCP) foi variada com vistas à obtenção de mesma corrente de soldagem para taxa de fusão constante (mesma  $V_{alim}$ ), já que nessas condições quando se utiliza os parâmetros constantes, inclusive a mesma DBCP, a corrente média de soldagem é diferente para cada arame. Esse procedimento foi importante para se avaliar a resistência ao desgaste dos depósitos de solda quando realizados com mesma corrente de soldagem e mesmo volume de metal depositado por comprimento de solda ( $V_{alim}$  e  $V_{sold}$  constantes). A Fig. (2) mostra a faca depois de soldada e pronta para ser montada no picador (cada faca foi revestida com 12 cordões de solda). Para o processo eletrodo revestido as condições de soldagem são as mesmas utilizadas na empresa parceira deste projeto.



**Figura 2. Detalhe de uma faca após a montagem do mancal.**

**Tabela 2. Parâmetros de soldagem para confecção dos corpos de prova para ensaio de desgaste.**

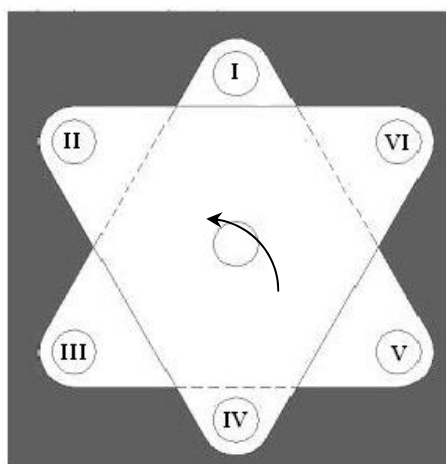
Tipo de Arame	Diâm (mm)	$V_{alim}$ (m/min)	$V_{sold}$ (cm/min)	$U_r$ (V)	P (mm)	DBCP (mm)	$I_{des}$ (A)
FeCrC	1,6	10	50	28	6	35	270
FeCrC+Nb					6	30	270
FeCrC+Ti					7	32	270
ER	4	-	15	40	6	-	170

Onde:  $I_{des}$ = corrente desejada; P= passo de soldagem, ou a distância entre centros de cordões adjacentes.

A montagem das facas no picador foi feita durante a primeira parada depois do início da safra, após o final do período chuvoso. As 12 facas deste trabalho, três revestidas com cada um dos quatro consumíveis, foram instaladas para avaliação juntamente com outras 48 facas construídas pela própria destilaria e não avaliadas neste trabalho. Após a construção do revestimento, as mesmas foram balanceadas individualmente pela adição ou retirada de material para evitar o desbalanceamento do picador e, conseqüentemente, excessiva vibração do sistema. As facas instaladas no picador foram numeradas segundo o tipo de consumível e de acordo com a posição de montagem, conforme o esquema ilustrado pela Fig. (3). As facas de número 1.1, 1.2 e 1.3 referem-se ao arame FeCrC; a 2.1, 2.2 e 2.3, ao arame +Nb; a 3.1, 3.2 e 3.3, ao arame +Ti, enquanto a 4.1, 4.2 e 4.3, ao eletrodo revestido ER1

A Fig. (3<sup>a</sup>) mostra detalhe do picador para um observador posicionado externamente (corte longitudinal), destacando a numeração dos eixos, enquanto a Fig. (3b) mostra a distribuição das facas por eixo. Dessa forma, por

exemplo, as facas revestidas com o arame FeCrC foram assim distribuídas: facas 1.1 e 1.2, na lateral esquerda (pos1) e no centro do eixo I (pos5), respectivamente, enquanto a faca 1.3 foi posicionada na lateral direita do eixo II (pos10). No centro desse mesmo eixo (pos5) foi montada também a faca 2.2 (arame +Nb), enquanto a faca 2.1 foi instalada na pos1 do eixo III e assim, sucessivamente. A Fig. (4) mostra vista interna do picador, facilitando a compreensão do exposto.



(a)

Eixo	Nº da faca e posição no picador		
	pos1	pos5	pos10
I	1.1	1.2	-
II	-	2.2	1.3
III	2.1	-	2.3
IV	3.1	3.2	-
V	-	4.2	3.3
VI	4.1	-	4.3

Onde: pos1= lateral esquerda; pos5= centro;  
pos10= lateral direita

(b)

Figura 3. Detalhes de montagem das facas nos eixos do picador: (a) Posição dos eixos no picador e (b) ordem de montagem das facas por eixo.

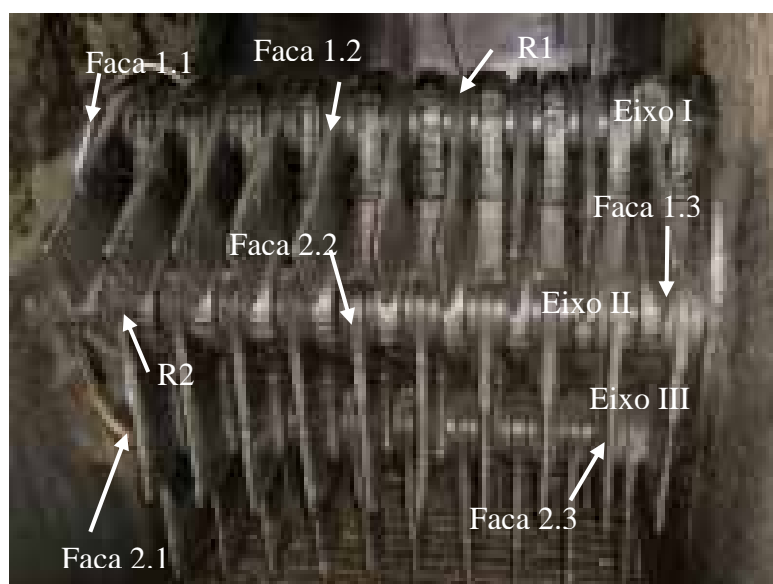


Figura 4. Vista interna do picador destacando a posição de montagem das facas.

A avaliação de desgaste das facas foi feita pela análise da perda de peso ocorrida durante a operação, comparando-se o peso das facas revestidas, antes do início do trabalho ( $P_{it}$ ) com o peso após o período de trabalho ( $P_{ft}$ ), pela utilização da Eq. (1).

$$Desg_m = P_{it} - P_{ft} \quad (g) \quad (1)$$

A resistência ao desgaste ( $R_{desg}$ ), foi obtida pela relação inversa do desgaste e em função da distância percorrida durante o trabalho em campo (Dist), através da Eq. (2). A variável (Dist) não é tão facilmente obtida, devido à dificuldade em se definir qual a fração do perímetro percorrido pelas facas em que estas efetivamente têm contato com a cana bruta. Na empresa parceira a colheita da cana é feita manualmente, sendo alimentada por um operário que controla manualmente o funcionamento da mesa alimentadora e da esteira. Portanto, a quantidade de cana alimentada ou a sua altura sobre a esteira não são regulares e, além disso, a cana não recebe compactação ou nivelamento como geralmente ocorre nos casos de colheita mecanizada, quando a cana é alimentada pré-cortada. Além disso, o sistema inicial de preparo (picador e, posteriormente o desfibrador) é executado em uma câmara blindada, com as ferramentas girando em elevada velocidade, não é possível efetuar medidas da altura da cama de cana sobre a esteira, precisamente. Verificou-se, entretanto, através de observações na área externa da esteira durante o trabalho, seguida de medições posteriores,

com o equipamento parado, que essa altura gira em torno de 900 mm, sendo aproximadamente igual à altura do centro do eixo central do picador. Conclui-se, portanto, que a região em que as facas podem manter contato com a cana, desde o instante que atinge a cana bruta até o instante em que se desvencilha do bagaço, equivale a aproximadamente um terço do perímetro do picador (1780 mm), como ilustrado pelo esquema da Fig. (5), a qual apresenta detalhe do picador em corte longitudinal. O arco AB representa a extensão do contato das facas com a cana em cada giro do picador.

$$Rdesg_m = \left[ \frac{Desg_m}{Dist} \right]^{-1} \quad (mg.m^{-1})^{-1} \quad (2)$$

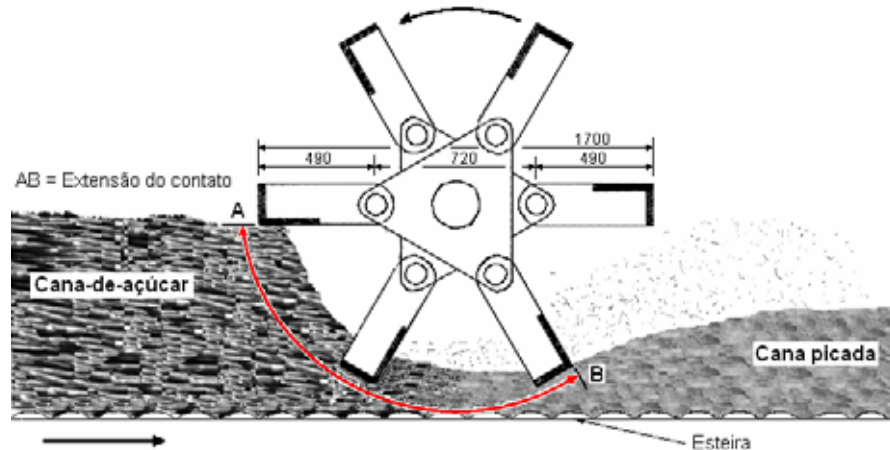


Figura 5. Esquema do picador mostrando a extensão do contato das facas com a cana (unidade mm).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. Avaliação de desempenho

Depois de transcorridos vinte e cinco (25) dias de trabalho e a moagem de cento e trinta e duas mil (132.000) toneladas de cana, as facas foram desmontadas e cuidadosamente limpas para a remoção de resíduos de cana, material abrasivo e outras sujidades. Em seguida foram pesadas para a obtenção do peso no final do trabalho ( $P_f$ ) e consequentemente possibilitarem a determinação da perda de material. A Fig. (6) apresenta foto ilustrativa de um exemplar das facas desgastadas após o período de trabalho, com cada consumível, destacando a região de maior desgaste (região de encontro do gume frontal com o gume superior). Essa região (o canto) é a que, durante o trabalho, passa mais próximo à esteira de alimentação da cana, sendo, portanto, mais solicitada devido à velocidade de avanço da esteira ser inferior à velocidade periférica das facas. Nas regiões mais afastadas do canto, tanto no gume frontal, quanto no gume superior, o desgaste é menor e vai progredindo com o tempo de trabalho, principalmente à medida que cresce o desgaste no canto.

Pela Fig. (6), verifica-se, além do desgaste por abrasão em todas as facas, a perda de metal por lascamento do revestimento, principalmente nas ferramentas revestidas com os arames FeCrC e +Nb, fato que será melhor discutido posteriormente. Além disso, verifica-se alguma perda de metal de base nas faces das facas, na região de contato com a cana (superfície lixada das facas na Fig. (6)) e também perda de pedaços de revestimento nas extremidades de início da solda, nos dois arames citados.

Como a perda de massa foi dimensionada via pesagem das facas, antes e após o período de trabalho, não foi possível separar a perda de metal por abrasão e a perda por lascamentos do revestimento, em alguns casos, a perda mais significativa. A Fig. (7) apresenta a perda de peso médio ( $Desg_m$ ) das três facas revestidas com cada consumível e do ER1. Verifica-se que, dentre os arames tubulares, que o melhor resultado em valores médios (menor desgaste) foi obtido com o revestimento +Ti, seguido do FeCrC e, com o maior desgaste, o revestimento +Nb. O eletrodo ER1 apresentou desgaste similar ao revestimento +Ti.

O maior desgaste do +Nb ocorreu devido à fratura e lascamento de parte do revestimento, principalmente na região mais solicitada, pois quando o desgaste vence a camada de revestimento protetor e atinge o metal de base, a taxa de desgaste tende a aumentar progressivamente, devido à menor resistência deste. Com isso, a redução de volume da faca progride mais rapidamente.



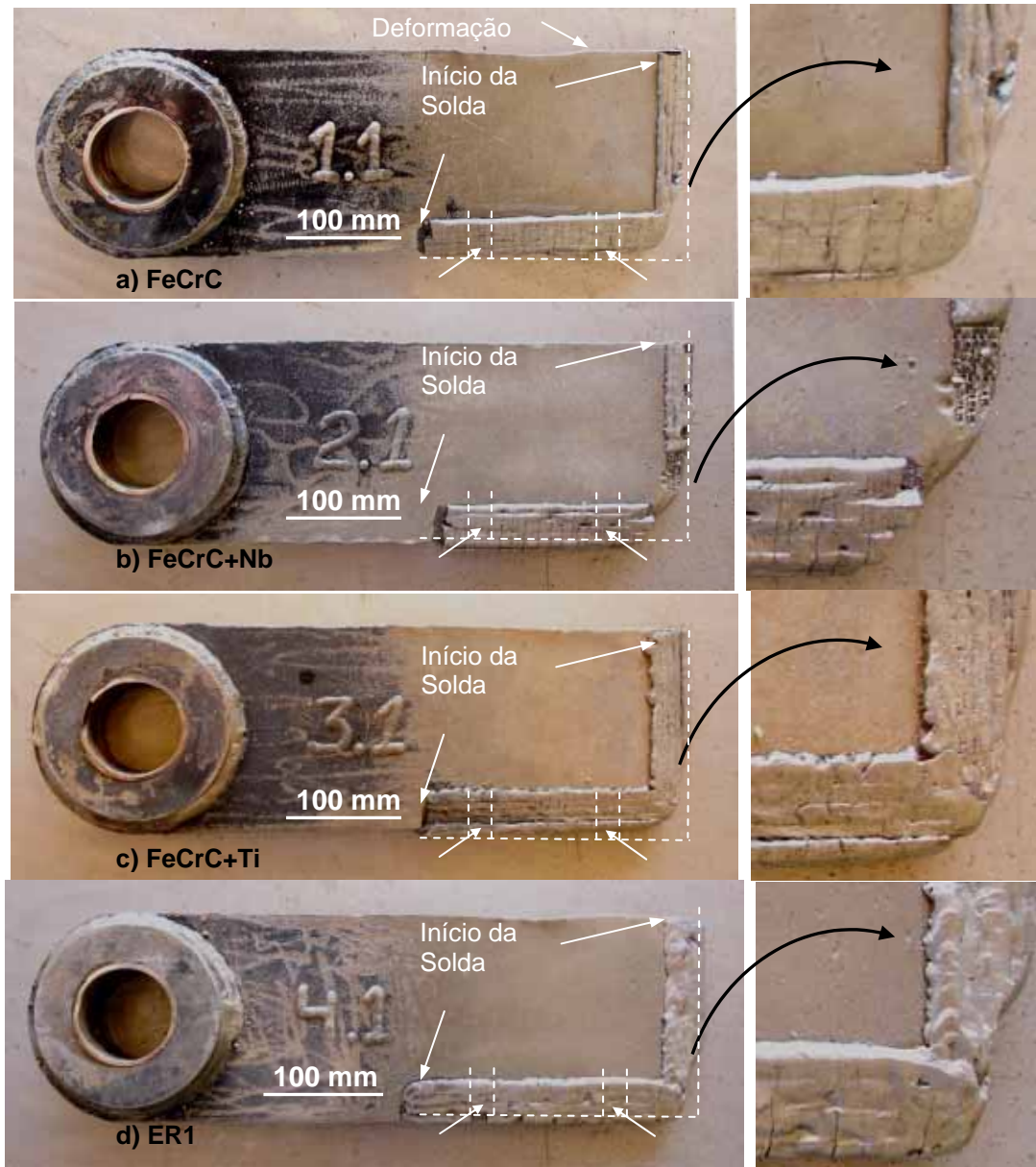


Figura 6. Facas desgastadas, com detalhe do canto de maior desgaste: arame FeCrC, FeCrC+Nb, FeCrC+Ti e eletrodo revestido ER1.

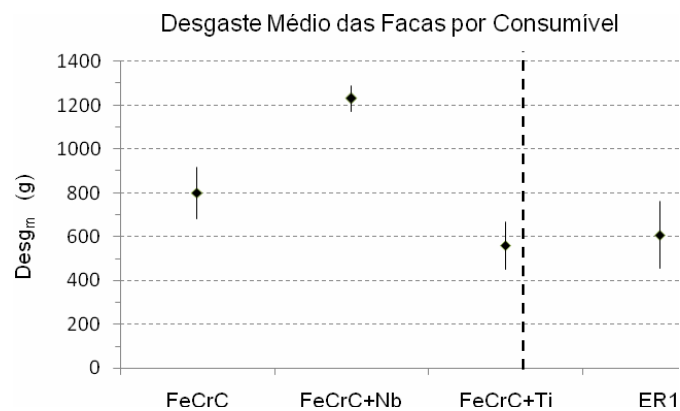


Figura 7. Histograma ilustrando o desgaste das facas por consumível.

Uma provável causa do lascamento de partes de revestimentos frágeis, em região de muitas trincas pode, além do impacto normal com a cana e outros objetos, também estar relacionada com o impacto da faca sobre a própria estrutura do picador. A Fig. (4) mostra as regiões onde esses impactos ocorrem, sendo a região R1, de impacto com o gume das

facas e a região R2, de impacto com as costas dessas. Esses impactos ocorrem durante a partida (aceleração), durante a parada do equipamento (desaceleração) ou após o choque das facas, tanto com a cana, quanto com materiais duros durante o trabalho, pelo fato de as ferramentas girarem livres sobre os eixos. São tão fortes as pancadas que promovem a deformação do material de base na região oposta ao gume como pode ser visto também na Fig. (6) (detalhe na faca 1.1 - FeCrC). Os choques na região oposta ao gume, aliado ao impacto com a cana e outros objetos estranhos na região frontal (região do gume) podem ser responsáveis pela propagação de trincas, pelo aumento do seu número e, conseqüentemente, pelos destacamentos de partes do revestimento.

Pela análise anterior (destacamento do revestimento), suspeita-se que as condições de soldagem utilizadas não tenham sido as melhores para o arame FeCrC e para o +Nb, do ponto de vista das tensões geradas durante a soldagem, onde os cordões paralelos tenham favorecido a propagação de trincas e, conseqüentemente o lascamento do revestimento. Como os arames apresentam composição química diferente, a soldagem com mesmas condições pode não ter sido adequada para a avaliação de cada um no seu ponto ótimo. Em função disso, acredita-se que seja importante a investigação posterior visando a identificação das condições ótimas para cada consumível do ponto de vista do controle de trincas, mas preservando a baixa diluição e elevada produtividade.

Segundo Carceller (2007), a adição de Mn nas ligas de revestimento duro objetiva incrementar a sua resistência ao impacto. Apesar do baixo teor de Mn das ligas utilizadas observa-se que os revestimentos que foram mais influenciados pelos lascamentos foram aqueles com menor teor de Mn, casos do +Nb, FeCrC. O eletrodo ER1, que foi o terceiro mais afetado pelos lascamentos, tem o terceiro maior índice de Mn na composição química.

### 3.2. Resistência ao desgaste

Os valores médios obtidos da resistência ao desgaste pelo ensaio das facas revestidas com os quatro consumíveis, durante essa etapa do trabalho, ilustrados na Fig. (8). Destaca-se, entretanto, que como ilustrado pelo esquema da Fig. (5), para a determinação da distância percorrida pelas facas durante o ensaio, considerou-se que a região do contato das facas com a cana, desde o instante em que atinge a cana bruta até o instante em que se desvencilha do bagaço, equivale a aproximadamente um terço do perímetro do picador.

Analisando a Fig. (8) pode-se citar que o tipo de arame tubular teve significância na resistência ao desgaste do revestimento na condição de operação na indústria. É possível dizer que a resistência ao desgaste do arame FeCrC e +Ti, os de maior  $R_{desg}$ , apresenta estatisticamente maior resistência ao desgaste que o +Nb. Comparando o eletrodo ER1 com os arames tubulares verifica-se que este apresentou resistência ao desgaste média ligeiramente inferior ao arame +Ti, de melhor desempenho neste quesito, mas superior ao arame FeCrC e +Nb, em valores médios.

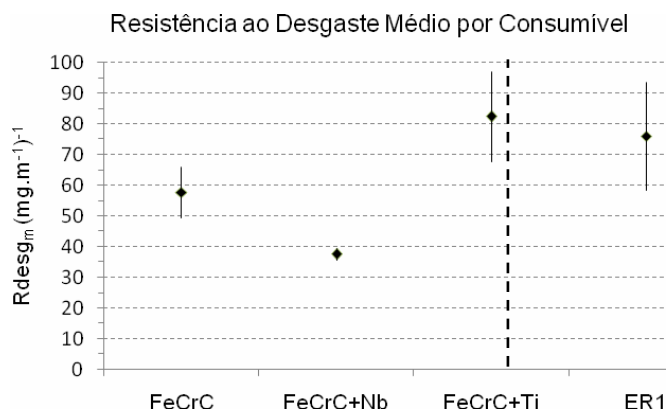
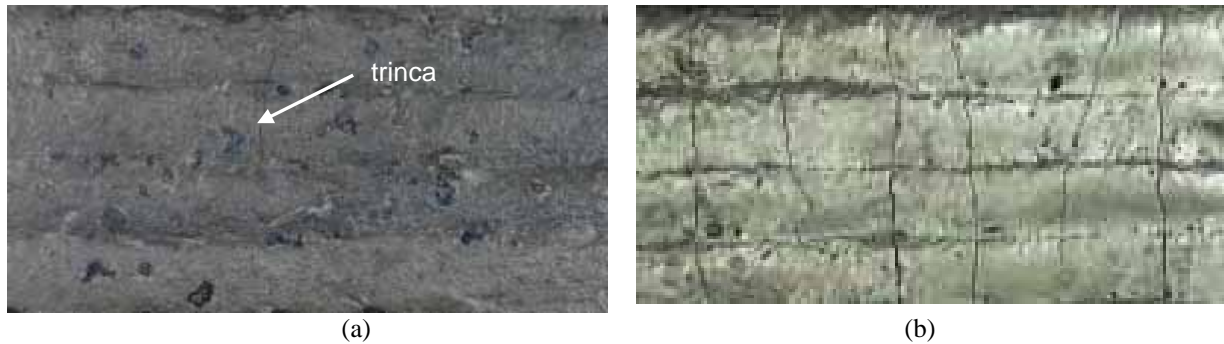


Figura 8. Resistência ao desgaste médio por consumível.

O melhor desempenho em termos de resistência ao desgaste do arame +Ti concorda com Gregory (1980), segundo o qual a adição de molibdênio (presente nesse arame) no revestimento duro é importante para aumentar a resistência à abrasão. Além disso, de acordo com Wang *et al* (2004), o carboneto de titânio (TiC) possui maior dureza e estabilidade que os carbonetos de cromo (CrC), fazendo com que materiais reforçados com TiC tenham cadeias muito fortes, proporcionando melhores propriedades de resistência ao desgaste da liga.

O pior resultado do arame +Nb, por sua vez, estaria relacionado ao lascamento do revestimento na presença de trincas e sob a ação do impacto com a cana e com a estrutura do picador. Isso contrasta com o melhor resultado do +Ti que não apresentou trincas superficiais visíveis a olho nu, antes ou após o trabalho. Essa constatação concorda com Martins Filho (1995), o qual verificou que em revestimentos de liga Fe-Cr-C-V, diferente desta, os melhores resultados de resistência ao desgaste abrasivo foram obtidos pelos ensaios isentos de trincas.

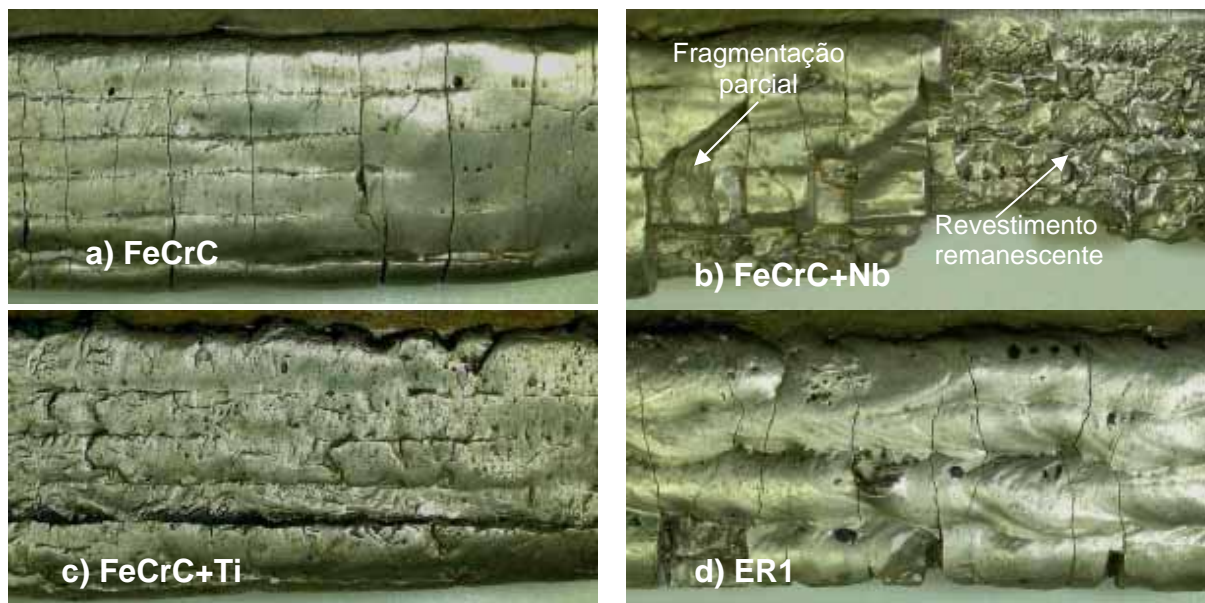
A Fig. (9) apresenta detalhe da mesma superfície de uma faca revestida com o arame FeCrC, antes e após o trabalho. É possível verificar por comparação visual à vista desarmada que o tamanho e a quantidade de trincas do revestimento, originadas durante a soldagem e não dimensionadas (Fig. (9a)), aumentou após o período de trabalho no picador (Fig. (9b)).



**Figura 9. Detalhe da superfície revestida de uma mesma faca antes (a) e após o trabalho (b).**

As trincas transversais ao cordão de solda são segundo Wainer, Brandi e De Mello (1991), trincas de contração e ocorreriam devido à baixa ductilidade ou, às vezes, ao baixo limite de escoamento do revestimento. Tais trincas aliviam as tensões, são visíveis a olho nu e podem propagar-se com trabalhos mecânicos.

A Figura (10) ilustra detalhes do revestimento dos quatro consumíveis, no gume frontal, próximo ao canto de maior desgaste. Destaca-se na figura, a quantidade de trincas do arame FeCrC e +Nb, que como conseqüência, provocou no segundo consumível em algumas regiões, uma acentuada fragmentação do revestimento (faca 2.2). Além disso, observa-se em região revestida com o eletrodo ER1, além de trincas, o arrancamento de pedaços do revestimento. Contrastando com esses resultados observa-se praticamente intacto o revestimento efetuado com o arame +Ti. No detalhe da Figura (10b) pode-se constatar que não ocorreu problema de ligação do metal de solda, mas sim, a fragmentação progressiva do revestimento devido à presença de trincas.



**Figura 8.10 – Detalhes das facas após o desgaste**

Segundo a citação de Scotti e Rosa (1997), durante o processo de soldagem podem aparecer trincas devido à fragilidade dos revestimentos duros. Estas não são, necessariamente, indicadores de redução na resistência ao desgaste, podendo até serem favoráveis por reduzirem as tensões internas. Por outro lado, são indesejáveis nos casos de revestimentos estanques ou sob esforços dinâmicos que levem à fadiga e, conseqüentemente, ao arrancamento do revestimento. Por sua vez, Martins Filho (1995) cita que para revestimentos de liga Fe-Cr-C-V aplicados com arames tubulares, a ausência de trincas é decisiva para o aumento da resistência ao desgaste abrasivo.

Corrêa *et al* (2006) afirmam que as ligas Fe-Cr-C são susceptíveis às trincas de solidificação, as quais aliviam as tensões de soldagem, mas, no caso de aplicações onde o componente está sujeito à vibração ou impacto, podem levar à fragmentação do revestimento. Em função disso, se busca incessantemente a obtenção de ligas que apresentem um bom desempenho de resistência ao desgaste e tenacidade.

Portanto, acredita-se que a soldagem com condições que minimizem a geração de trincas ou dificultem a sua propagação possa melhorar o desempenho dos dois arames mais afetados por lascamentos, concordando com a conclusão de Martins Filho (1995). Portanto sugere-se que trabalhos posteriores busquem a otimização de técnicas e de parâmetros de soldagem, como oscilação da tocha, ângulo de ataque, corrente, tensão, velocidade de soldagem e distância bico de contato-peça, além de modo de transferência metálica e diluição da solda que minimizem a geração de



trincas e, dessa forma, avaliar o desempenho dos arames citados (FeCrC e +Nb) sob essas condições. Scotti e Rosa (1997) mostraram em seu trabalho, com arame tubular de liga Fe-0,5C-5B, que é possível produzir depósitos de revestimento duro livres de trinca, combinando com elevada dureza, pela utilização de pré-aquecimento e de oscilação da tocha.

### 3.3. Mecanismo de desgaste

A Fig. (11) ilustra o perfil da superfície desgastada dos revestimentos aplicados nas facas picadoras com os quatro consumíveis, obtidas em microscópio eletrônico de varredura (MEV). Foi feita uma varredura na superfície do corpo de prova na região mais afetada pela ação dos agentes de desgaste, buscando-se evidenciar alguma similaridade no perfil ou nos mecanismos atuantes.

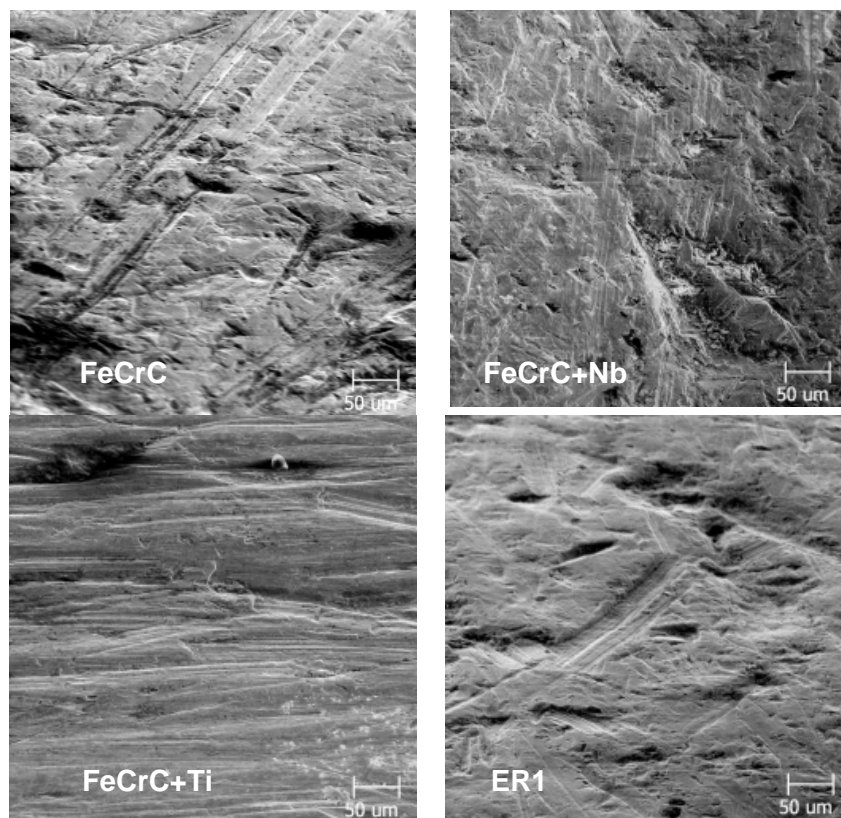


Figura 11. Perfil da superfície desgastada das facas com os quatro consumíveis (MEV - aumento de 200X).

Apesar de se verificar a predominância do microcorte e indentações, a superfície dos diferentes revestimentos se apresentou também distinta, como pode ser visto na Fig. (11). A presença de crateras nos revestimentos FeCrC, +Nb e ER1 indicam o arrancamento de partículas, provavelmente carbonetos, o que ocorreria com a continuidade do desgaste.

## 4. COCLUSÕES

A maior resistência ao desgaste em campo foi obtida pelas facas picadoras revestidas com o arame tubular +Ti, seguida do FeCrC e do +Nb. Apenas o revestimento +Ti apresentou desempenho superior ao eletrodo revestido ER1.

O lascamento do revestimento foi decisivo no mau desempenho do revestimento +Nb e parcialmente no revestimento FeCrC, devido à formação e propagação de trincas de solidificação.

A presença de discontinuidades como trincas e porosidades podem favorecer o destacamento de partes do revestimento, aumentando a taxa de desgaste nas condições de campo.

A ausência de trincas do revestimento +Ti deve ter sido o diferencial para o seu maior desempenho em campo na presença de impacto com a cana, a estrutura do picador e outros materiais estranhos. Opostamente, a maior quantidade de trincas (não quantificadas) do revestimento +Nb pode ter sido responsável pela sua maior perda de massa;

O menor desgaste do revestimento +Ti permite supor que, caso seja desenvolvida uma técnica para reforçar a região de maior desgaste (canto da faca), por exemplo, com duas ou três camadas, as demais regiões do revestimento poderiam suportar, ainda, o processamento de quantidade de cana igual ou superior à processada no período avaliado;

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento às instituições que apoiaram para realização deste trabalho (CNPq, CAPES, FAPEMIG, CEFET-GO e UFU).

## 6. REFERÊNCIAS

- Buchely, M. F.; Gutierrez, J. C.; León, L. M. e Toro, A. The Effect of Microstructure on Abrasive Wear of Hardfacing Alloys. "Tribology International". Vol. 259, 2005, p. 52-61.
- Carceller, R. C. Influencia de los Parámetros del Régimen de Recargue en la Morfología de los Depósitos de Acero e Fundición Blanca al Cromo y su incremento en la Resistencia al Desgaste Abrasivo. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Facultad de Ingeniería Mecánica, República de Cuba, Tesis de Doctorado en Ciencias Técnicas, 2007, 154 p.
- Correa, E. O.; Alcântara, N. G.; Tecco, D. G.; Kummar, R. V. Desenvolvimento de uma Liga Ferrosa para a Solda de Revestimento Duro Reforçada com Carbonetos Complexos. IV Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 22 a 25 de agosto, Recife- PE, 2006.
- Gregory, E. N. Surfacing by Welding. The Welding Institute Research Bulletin. p. 9-13. jan. 1980
- Hernández, O. J. S. "Otimização do Consumível na Solda de Revestimento Aplicada na Indústria Sucroalcooleira". Universidade Federal de São Carlos. Dissertação de Mestrado. 1997, 102 p.
- Lima, A. C. e Ferraresi, V. A., "Estudo dos Modos de Transferência Metálica de um Arame Tubular Autoprotetido com Variação da Distância Bico de Contato Peça". *Soldagem & Inspeção*, vol. 11, nº 3, jul/set, 2006.
- Martins Filho, A. S. "Soldagem de Revestimentos com Arame Tubular". Universidade Federal de São Carlos. Dissertação de Mestrado. 1995, 93 p.
- Scotti, A. e Rosa, L. A. A. Influence of Oscillation Parameters on Crack Formation in Automatic Fe-B Hardfacing. *Journal of Materials Processing Technology*. p. 272-280, 1997.
- Wang, X. H. ; Zou, Z. D. ; Qu, S. Y e Song, S. L. "Microstructure and Wear properties of Fe-band Hardfacing Coating Reinforced by TiC Particles". *Journal of Materials Processing Technology*. pp. 3-6. nov. 2004.
- Wainer, E.; Brandi, S. D.; DE Mello, F. D. H. Soldagem – Processos e Metalurgia. Editora Edgard Blucher Ltda. 494 p. 1991.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# EVALUATION OF THE WEAR RESISTANCE TO THE CHOPPING KNIVES OF SUGAR-CANE WITH HARDFACING TUBULAR WIRE

Aldemi Coelho Lima, [acl@cefetgo.br](mailto:acl@cefetgo.br)<sup>1</sup>

Valtair Antonio Ferraresi, [valtairf@mecanica.ufu.br](mailto:valtairf@mecanica.ufu.br)<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, CEFET-GO, Rua 75 nº 46, Setor Central, Goiânia-GO, Brasil, CEP 74055-110.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Uberlândia, UFU – FEMEC, Campus Santa Mônica, Caixa Postal 593, CEP 38400-902, Uberlândia, MG, Brasil.

**Abstract.** *The brazilian alcohol and sugar industry were presented the large growth in the last years. However, the maintenance of industries presented high cost because the wear of equipments. This work aims to study hardfacings application by Flux Cored Arc Welding on wear resistance to the sugar-cane chopping knives. Three tubular wires FeCrC alloy were used, which ones differ to each other by the different contents of C, Cr, Si and Mn. Besides ones differ to each other by the addition of Nb in second and Ti in the third. One shielded electrode of recognized efficiency was used for comparison with the tubular wires performance. The welding were made in steel plate 1020 with transfer short circui mode. Afterwards, they were fabricating sugar-cane chopping knives, hardfacing welded with same welding parameters and set up in chopping equipment of an alcohol distillery. The wear evaluation was done by weight loss. The contend Nb wire presented the minor wear resistance due to the crack presence and to fracture of the hardfacing. The contend Ti and Mo wire presented the best wear resistance.*

**Keywords,** *Selfshielded tubular wire, abrasive wear, hardfacing, Fe-Cr-C alloy, sugar and alcohol industry.*