Melhoria do processo de soldagem da recuperação de eixos de moenda

Emerson André Pinto Bento [(1)]
Mírian Isabel Junqueira Sarni [(2)]

Resumo

Percebendo o significativo aumento na demanda de manutenção de componentes de usinas de açúcar e álcool, e em contrapartida as tecnologias de plantio e cultivo proporcionando o aumento do período útil da safra de cana-de-açúcar, a indústria que presta serviço a este setor, cada vez mais busca alternativas mais produtivas aos processos, pois o período de reforma, que se dá na entressafra, está menor a cada ano. Pensando em um dos componentes que demanda maior tempo para recuperação, os eixos de moenda, este trabalho sugere a substituição do processo usualmente aplicado, o Arco-submerso com arame sólido, por um processo muito mais produtivo e sem perda de qualidade do trabalho, que é o processo Arco-submerso "Twin Arc" com arame tubular e técnica de soldagem com oscilação. Esta substituição visa aumentar a produtividade em pelo menos 60%, reduzindo assim o tempo demandado em cada recuperação bem como o seu custo final. Para que se pudessem comparar os dois processos, realizaram-se experimentos em um mesmo eixo com ambos, tendo sido acompanhado e cronometrado para análise comparativa de custos, além de realização de testes como macrografia, dureza e análise química para garantir que com a substituição não haveria perda de qualidade no trabalho. Os testes realizados reproduzem as condições usuais de trabalho do dia-a-dia a que é submetido o eixo. Toda a mão de obra, material e suporte para a realização dos testes foram fornecidos pela empresa.

Tomou-se também o cuidado de não informar os operadores sobre a realização dos testes, para evitar que os resultados fossem alterados, tanto em termos de produtividade quanto em qualidade.

Palavras-chave: Eixos de moenda, Processo Arco-submerso, Arame sólido, Arame tubular.

1 Graduado pela FATEC-Sertãozinho em Tecnologia Mecânica:Processos de Soldagem, SP, E-mail: emersonbento@netsite.com.br

[2] Professora Mestre da FATEC - Faculdade de Tecnologia de Sertãozinho, SP, E-mail: miriansarni@hotmail.com

Abstract

Realizing the significant increase in demand for components maintenance of sugar and alcohol, and in consideration of the plantation and cultivation technologies providing increased working time of the harvest of sugar cane, the industry that provides services to this sector, increasingly seeking alternatives to more productive processes, since the reform period, which occurs in dry season, is decreasing every year. Thinking of a component that requires more recovery time, the axes milling, this work suggests the replacement of the usually applied, with the submerged arc welding with a single solid wire, for a much more productive, without loss of quality of work, which is the submerged arc process "Twin Arc" with two cored wire and using spreading technique of welding. This substitution intends increasing the productivity by at least 60%, thereby reducing the time required in each recovery well as its cost final. In order to compare the two procedures, the tests were done in the same axis in both processes, being monitored and timed for comparative analysis of costs, as well as for testing for chemical analysis and macrograph tests we make sure that the replacement there is no loss of quality in work. The tests reproduce the conditions of normal day by day life of a service provider who gave a dropped axle, all materials and support for the testing was provided by the company, and the operators were not aware that it was a comparative test to avoid masking the results of both productivity and quality observed.

Keywords: *Axes milling, Submerged arc process, Solid wire, Cored wire.*

Introdução

A importância das indústrias de cana-de-açúcar no cenário mundial tem crescido exponencialmente, desde sua origem. Oficialmente, foi Martim Affonso de Souza que trouxe em 1532 as primeiras mudas de cana-de-açúcar ao Brasil e passou a cultivá-la na Capitania de São Vicente. Ele também construiu o primeiro engenho de açúcar (MIRANDA, 2009).

Nas últimas décadas este tipo de indústria evoluiu muito, e passou a produzir açúcar, etanol e seus subtipos, produtos químicos derivados, levedura e planta de CO_2 (para indústria de bebida e/ou alimentos), além de fonte de geração de energia limpa e renovável, através da queima do bagaço. Com o crescimento dos investimentos no setor a quantidade de unidades

fabris aumentou muito nos últimos anos. Além da construção de novas unidades há no setor a constante pesquisa para aumentar a eficiência das plantas instaladas e assim alcançar a crescente demanda com menor investimento (SOUSA, 2009). Estas pesquisas vão desde o campo desenvolvimento e cultivo de novas espécies de cana com características adequadas à região onde são cultivadas, até a engenharia de empresas de bens de capital que desenvolvem e modernizam os equipamentos para industrialização da cana-de-açúcar, também, as ferramentas de automação e controle remoto destes equipamentos. Com o crescimento dos investimentos no setor a quantidade de unidades fabris aumentou muito nos últimos anos. Além da construção de novas unidades há no setor a constante pesquisa para aumentar a eficiência das plantas instaladas e assim alcançar a crescente demanda com menor investimento (SOUSA, 2009). Estas pesquisas vão desde o campo desenvolvimento e cultivo de novas espécies de cana com características adequadas à região onde são cultivadas, até a engenharia de empresas de bens de capital que desenvolvem e modernizam os equipamentos para industrialização da cana-de-açúcar, também, as ferramentas de automação e controle remoto destes equipamentos.

O ciclo da lavoura da cana de açúcar, também divide o calendário anual das indústrias do setor em dois períodos: produção e entressafra. Este último é o período que as usinas usam para instalar novos equipamentos, reformar e ampliar os que já estão em uso. Procura-se sempre o conceito de manutenção preventiva, visto que os custos de uma interrupção na linha durante o período de produção é significativo. O fato é que com o desenvolvimento de novas espécies de cana e com o aumento da eficiência da indústria desde a colheita até os setores de distribuição do produto, o período de entressafra tem sido reduzido a cada ano. De fato, em aproximadamente uma década este período caiu de seis para quatro meses, o que também força os setores e empresa ligados à manutenção a também buscar, constantemente evoluir, aumentar a eficiência, redução de retrabalho e, principalmente, tornar os processos aplicados, mais produtivos.

Como as regiões produtoras estão normalmente concentradas geograficamente, a demanda por serviços de manutenção aumenta muito neste período. Entre os processos industriais mais usados na manutenção destes equipamentos estão o corte e a soldagem. O terno de moenda é um equipamento comum a toda a usina, pois é o equipamento responsável pela moagem da cana-de-açúcar e extração do seu caldo que será processado e dará origem a seus subprodutos.

Um dos componentes mais solicitados de uma moenda é o eixo que gira os rolos frisados, que é de grande porte e de difícil movimentação. Como a demanda por recuperação das peças é muito grande no período de reforma, o estudo apresentado visa sugerir uma mudança no processo usualmente aplicado, de arco submerso com arame sólido, para uma variação arco submerso, conhecido como “Twin-arc” que utiliza dois arames simultaneamente no mesmo arco elétrico. Além da mudança de processo, o estudo também propõe a utilização de oscilação lateral do cabeçote durante a soldagem, visando aumentar a área coberta em um único passe. O aumento na produtividade com a modificação do processo significa mais que somente diminuir de custo, pode ser a diferença entre atender ou não a demanda, sem a necessidade de novos investimentos. A moenda é equipamento que recebe a cana e a mói, extraindo assim o seu caldo que será processado e de onde sairão os subprodutos. Cada conjunto de rolos de moenda, montados numa estrutura denominada "castelo", constitui um terno de moenda. O número de ternos utilizados no processo de moagem varia de quatro a sete e cada um deles é formado por três rolos principais denominados: rolo de entrada, rolo superior e rolo de saída (Figura 1).

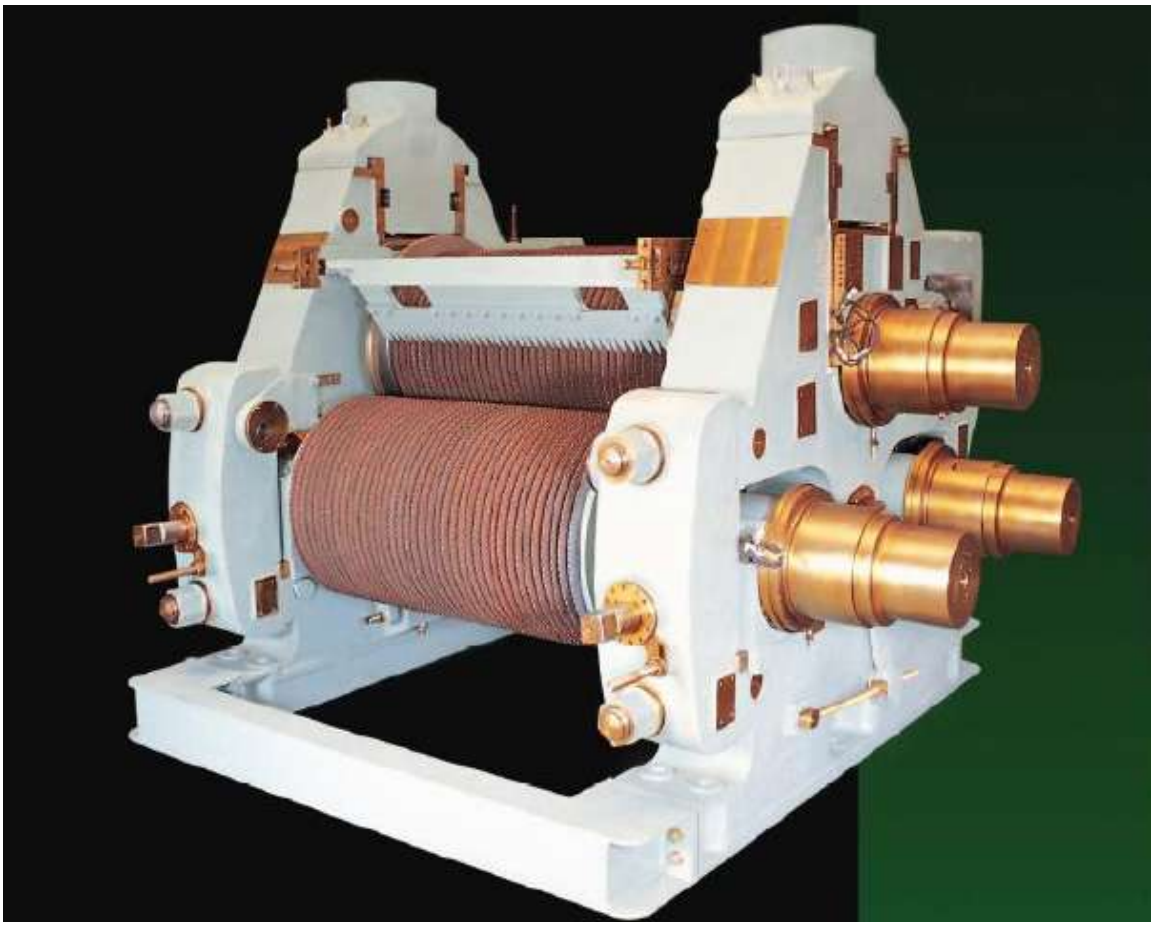


Figura 1. Conjunto Moenda Montado (SIMISA, 2008).

Segundo os dados informados pelo site Jornal Cana (2010), há 373 unidades em funcionamento no país, cada uma possui de 4 a 7 ternos de moenda em funcionamento, todos os ternos de moenda que trabalham durante a safra têm de sofrer recuperação durante a entressafra, temos o número aproximado de eixos sendo recuperados por entressafra, aproximadamente 4.476 eixos (373 unidades em funcionamento, vezes o número de ternos usados no processo 4 no mínimo, vezes o número de eixos no terno de moenda 3 no mínimo). É claro, que em face do cenário econômico, que o número de usinas e portanto eixos a serem recuperados tende a crescer.

Métodos Experimentais, Resultados e Discussão.

Etapa 1: Preparação do dispositivo para os testes.

Uma vez que os parâmetros e dados de produtividade da soldagem de eixos no processo Arco submerso com arame simples já estavam totalmente catalogados pelo prestador de serviço, onde os testes foram realizados, a etapa seguinte foi a instalação de um sistema de tracionamento no alimentador de arame que possibilitasse a utilização de dois arames simultaneamente no mesmo arco. Também foi instalado um dispositivo oscilador, trata-se de um dispositivo eletromecânico que possibilita movimento lateral da tocha e conseqüentemente do arco elétrico, possibilitando assim aumentar a largura do cordão. Este sistema disponibiliza o controle da largura do cordão, da freqüência de oscilação e tempo de parada para mudança de sentido do movimento na margem do cordão de solda. O prestador de serviço que realizou os testes, já possuía e fazia uso de dispositivos de pré e pós-aquecimento e o sistema de fixação e giro do eixo.

Etapa 2: Determinação dos parâmetros.

Como se trata de um processo de recuperação dimensional, não há interesse em diluição muito alta do consumível de soldagem no metal de base, isto diminui a altura útil do cordão e na pratica aumenta a quantidade de material que deve ser depositada na soldagem, portanto na determinação dos parâmetros buscava-se um equilíbrio entre amperagem, taxa de diluição, além disso, por se tratar de um eixo a forma circular impede uma poça de fusão muito volumosa, pois pode escorrer liquido da poça pelas laterais do eixo prejudicando o aspecto superficial do cordão. Realizaram-se diversos testes práticos com diferentes combinações de largura do cordão e parâmetros de soldagem e todas as soldagens com largura de cordão superior a 50 mm apresentaram trinca longitudinal no centro do cordão. Já a combinação de diversos parâmetros de soldagem com cordões de no máximo 50 mm não apresentaram defeitos. Com base neste resultado, determinou-se que a maior largura viável para esta aplicação seria 50 mm, o que significa um ganho de 555% em relação à largura usualmente encontrado na soldagem de passe simples com um único arame que é de 9 mm.

Aumentar a largura útil do cordão reduz o número de cordões aplicados para a mesma recuperação e como o equipamento tem de realizar o deslocamento lateral entre o cordão finalizado e o local onde será aplicado o próximo cordão e este deslocamento é realizado sem o arco elétrico estar ligado, conseqüentemente a redução do número de cordões reduz o tempo total necessário para finalização da soldagem. Como os aços que possuem Ceq maior ou igual a 0,45 requerem além do pré-aquecimento a aplicação do pós-aquecimento, diferente de outros tratamentos térmicos, este é aplicado imediatamente após a soldagem, enquanto a peça ainda está aquecida. O resultado alcançado é maior ductilidade na região da solda, desde que o pós-aquecimento seja aplicado antes da peça soldada resfriar a menos de 300 °C. Para o aço em questão a temperatura indicada de pós-aquecimento é 550 a 600 °C, neste experimento adotou-se 600 °C.

Para atingir e manter as temperaturas desejadas usou-se um sistema de maçaricos de aquecimento, comumente chamados de “chuveiros” e a verificação das temperaturas foi realizada pelo operador com o uso de um pirômetro a laser.

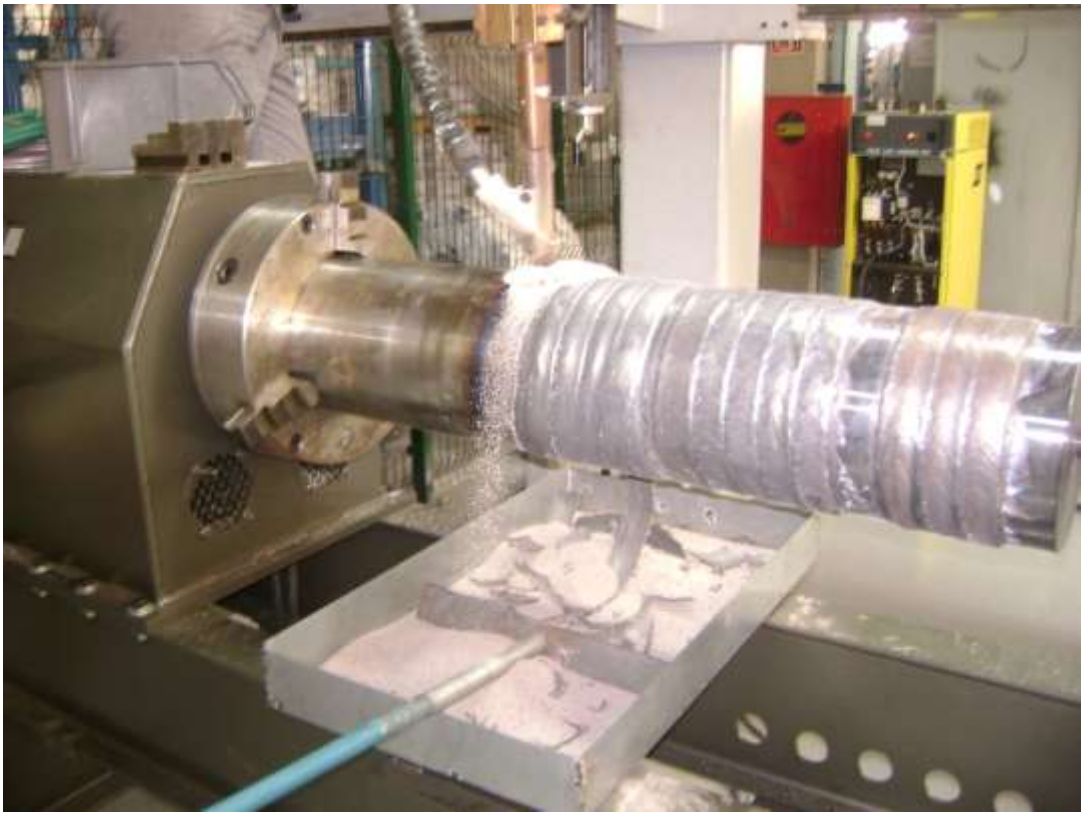


Figura 2. Foto do eixo (PROCESSES CENTER, 2010).

Etapa 3: Realização dos testes.

Tendo em vista que a substituição do processo visa aumentar a produtividade, realizaram-se os testes buscando trabalhar com parâmetros próximos aos máximos indicados para a bitola aplicada, porém ainda em condições de serem utilizados normalmente pelos operadores no dia a dia. Por isso os operadores não foram informados que os testes visavam medir a produtividade do novo processo e também não foram informados que o trabalho estava sendo cronometrado para avaliação do ciclo de trabalho e taxa de produtividade. Desta maneira, os resultados encontrados retratam a peculiaridade a que permite o processo. A tabela 1 mostra os parâmetros utilizados durante os testes. Para a determinação das taxas encontradas, os eixos foram pesados antes da soldagem, os tempos de soldagem foram cronometrados e os eixos foram pesados após a soldagem, estes dados foram usados na análise comparativa dos custos, conforme mostrado na etapa 4.

Tabela 1. Parâmetros e Taxa de produtividade encontrada

Um arame	600 A	800 A
CC + 4mm- arame sólido	7,2*	10,5*
Arco geminado (twin arc)		
CC + 2 x 2,0mm- arame sólido	8,0*	11,8*
CC + 2 x 2,4mm- arame sólido	7,4*	10,9*
CC + 2 x 2,4mm- arame tubular MC	8,7*	17,5*

* Unidade kg/h de arco aberto

Etapa 4: Análise comparativa dos custos.

Os resultados apresentados na tabela 1 mostram que o processo mais produtivo obtém-se com a utilização de dois arames de bitola 2,4 mm, a aproximadamente 800 A. Nesta corrente, a taxa de produtividade alcançada é de 17,5 kg/h de arco aberto, que em comparação com o processo até então usado significa um aumento de aproximadamente 66%. A análise comparativa de custos neste caso mostrou-se muito simples, pois não houve a necessidade de comparação de diversos fatores que normalmente têm de ser considerados numa eventual substituição de processos. Como neste caso trata-se apenas da aplicação de uma variação do mesmo processo, na prática itens como tempo de preparação da junta, tempo de montagem e posicionamento das peças, tempo de limpeza entre outros, não foram alterados. Sendo assim o

foco da análise comparativa dos custos foi comparar as taxas de produtividade encontradas na soldagem com um arame e com arco geminado (apresentadas na Tabela 1). Também há de se considerar que a qualidade do processo que está sendo substituído é satisfatória e, portanto não houve cálculo de custos envolvidos com reparo de peças. Observa-se a seguir a seqüência de operações realizadas na análise comparativa de custos:

1) O eixo a ser soldado foi pesado.

2) Os tempos de soldagem em ambos os processos, foram cronometrados e somados

3) Após a soldagem em cada processo o eixo foi novamente pesado.

4) Utilizou-se a equação (1) para determinar a taxa líquida de deposição de cada processo separadamente.

5) O tempo total de soldagem de cada um dos processos foi medido e descontado do tempo de arco aberto, para comparação do tempo de set-up de cada processo.

$$\textit{Taxa líquida de deposição} = \textit{Taxa de deposição} \times \textit{ciclo de trabalho} \quad (1)$$

[kg/h] [kg/h] [hora de arco aberto]

Etapa 5: Testes e ensaios pós soldagem.

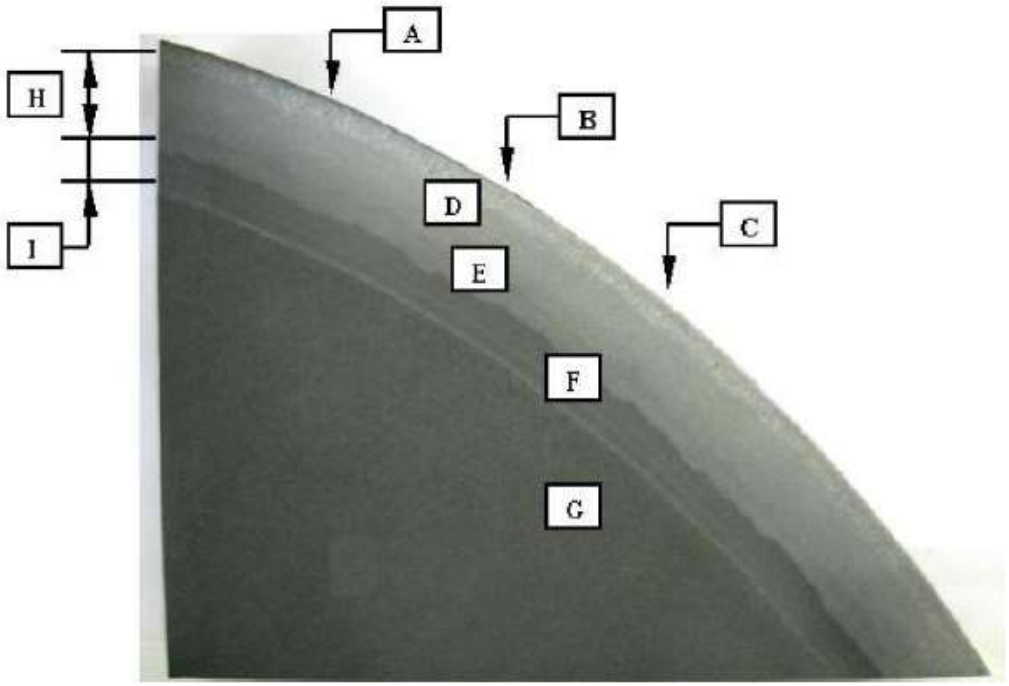
Após a soldagem retirou-se amostras de pontos diferentes do eixo soldado para realização da análise química. Observou-se (conforme Tabela 2) que a composição química encontrada no corpo de prova 2 – soldado com SAW "Twin arc", é similar ao indicado como resultado típico no catálogo do fabricante, e o aumento percentual de alguns elementos de liga no metal soldado indicam uma melhor resistência às solicitações de trabalho do eixo e provavelmente irá reduzir o índice de recuperações nas próximas entressafras.

Tabela 2. Análise Química dos corpos de prova

Elemento	Corpo de prova 1			Corpo de prova 2		
	Metal de base	**ZTA**	**Solda**	**Metal de base**	**ZTA**	**Solda**
C	0,45	0,220	0,150	0,45	0,132	0,103
Si	0,156	0,250	0,360	0,159	0,52	0,58
Mn	0,742	1,068	1,560	0,743	1,31	1,32
P	0,040	0,034	0,031	0,041	0,029	0,027
S	0,016	0,016	0,016	0,015	0,008	0,008
Cr	0,023	0,015	0,010	0,023	0,516	0,50
Ni	0,006	0,008	0,008	0,006	2,11	2,35
Mo	0,009	0,015	0,015	0,008	0,440	0,446
Cu	0,070	0,048	0,032	0,075	0,034	0,038
Al	0,031	0,030	0,030	0,031	0,044	0,045
Nb	0,005	0,009	0,12	0,005	-	-

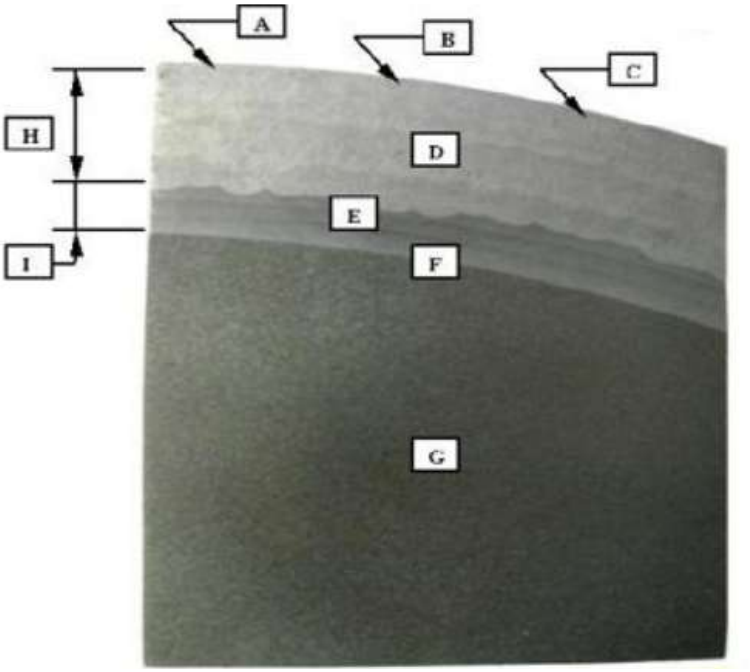
Nota:
1) Teores referidos em % do peso.
2) Corpo de prova 1- Soldado com SAW *"Singles Wire"*.
3) Corpo de prova 2- Soldado com SAW *"Twin Arc"* e oscilação lateral.

Também se realizou ensaio de macrografia, com o objetivo de identificar as diferentes regiões da junta para orientar os pontos de onde deveria ser analisada a dureza, esperou-se no corpo de prova 2, em função da diferença de composição química, uma dureza no metal de solda e zona de transição superior à dureza do metal de base e também superior aos valores encontrados no corpo de prova 1. As Figuras 3 e 4 ilustram a macrografia e os pontos de retirada da dureza em escala Brinnell, os resultados do ensaio de dureza são informados na Tabela 3.



Escala 1:1

Figura 3. Macrografia e pontos do ensaio de dureza (Corpo de prova 1).



Escala 1:1

Figura 4. Macrografia e pontos do ensaio de dureza (Corpo de prova 2).

Tabela 3. Dureza dos corpos de prova

	Corpo de prova 1							Corpo de prova 2						
	A	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
Metal de base	146	144	146	146	179			146	145	145	146	146		
ZTA						186							217	
Solda							164							186

Nota:
1) Corpo de prova 1- Soldado com SAW "*Single Wire".*
2) Corpo de prova 2- Soldado com SAW "*Twin Arc".*
3) Valores informados em Escala Brinell.

Conclusão

Com base nos resultados encontrados nos testes realizados, conclui-se que:

O processo proposto (SAW Twin Arc, com oscilação lateral) apresenta resultados de ganho de produtividade de aproximadamente 66% (conforme Tabela 1); o que implica em uma significativa redução no custo final da soldagem. A qualidade da soldagem apresentada é plenamente satisfatória, não foram encontrados defeitos visuais na solda e os corpos de prova retirados do eixo de teste foram submetidos a testes que comprovam a sua sanidade (conforme Tabelas 2 e 3 e Figuras 3 e 4).

O fato de a empresa que realizou o teste ter adotado imediatamente o processo corrobora com a indicação de sucesso da sugestão apresentada. A adoção deste processo pelos diversos prestadores de serviços do setor que realizam recuperação de eixos de moenda pode aumentar a capacidade de absorção da crescente demanda deste tipo de serviço no mercado.

Referências Bibliográficas

JORNAL DA CANA. **História do setor.** Disponível em <http://www.jornalcana.com.br/Conteudo/HistoriadoSetor.asp>. Acesso em 02 de Maio de 2010.

MARQUES, PAULO VILANI. **Soldagem Fundamentos e tecnologia.** Ed. UFMG, 3º Edição, Belo Horizonte, 2009.

MIRANDA, ROBERTO JOSÉ. **A história da Cana de Açúcar**,1ª edição, ed. Komedi, Campinas, SP, 2008.

PUBLICAÇÃO 19000289. **Catálogo de produto.** Simisa, Revisão 4, Março, 2008.

SOUSA, EDUARDO LEÃO DE. **A cana-de-açúcar no futuro da matriz energética.** IN: Etanol e Bioeletricidade, 46 p., UNICA, 2009.