

**MÁRCIO DE QUEIROZ MURAD**

**APLICAÇÃO DE CHAPISCO EM MOENDA DE CANA DE  
AÇÚCAR COM O PROCESSO FCAW**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**2015**

**MÁRCIO DE QUEIROZ MURAD**

**APLICAÇÃO DE CHAPISCO EM MOENDA DE CANA DE  
AÇÚCAR COM O PROCESSO FCAW**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA**.

Área de Concentração: Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Valtair Antônio Ferraresi

**UBERLÂNDIA – MG  
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

- M972a Murad, Márcio de Queiroz, 1969-  
2016 Aplicação de chapisco em moenda de cana de açúcar com o processo  
FCAW / Márcio de Queiroz Murad. - 2016.  
95 f. : il.
- Orientador: Valtair Antônio Ferraresi.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica.  
Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.76>  
Inclui bibliografia.
1. Engenharia Mecânica - Teses. 2. Resistência de materiais - Teses.  
3. Desgaste mecânico - Teses. 4. Metais a altas temperaturas - Teses. I.  
Ferraresi, Valtair Antônio. II. Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. III. Título.

CDU: 621

**MÁRCIO DE QUEIROZ MURAD**

**APLICAÇÃO DE CHAPISCO EM MOENDA DE CANA DE  
AÇÚCAR COM O PROCESSO FCAW**

Dissertação **APROVADA** pelo Programa de  
Pós-graduação em Engenharia Mecânica da  
Universidade Federal de Uberlândia.

**Área de Concentração: Materiais e  
Processos de Fabricação.**

Banca Examinadora:

---

**Prof. Dr. Valtair Antônio Ferraresi – UFU - Orientador**

---

**Prof. Dr. Ruham Pablo Reis - UFU**

---

**Prof. Dr. Demostenes Ferreira Filho**

**Uberlândia, 13 de ABRIL de 2015**

À Deus  
À minha esposa Carla  
Aos meus pais Mounif e Maria José e irmãos  
Às minhas filhas Mariana e Carina  
Aos meus irmãos Mounif e Marcilha

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelas condições de saúde e inteligência, indispensáveis para esta realização.

Ao professor e orientador Valtair Antônio Ferraresi, pelos ensinamentos, pelo apoio, dedicação, confiança e, acima de tudo, pela valiosa orientação.

À minha esposa Carla, e minhas filhas Mariana e Carina, pela credibilidade, incentivos, apoio e carinho.

Aos meus pais Mounif e Maria José, pelos valores ensinados, pela dedicação e carinho.

Aos professores do curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, pelos preciosos ensinamentos.

Ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFU, pelo suporte infraestrutural, a todos do LAPROSOLDA/UFU

À empresa Simisa S.A, em especial aos senhores Marcos e Artur.

À empresa Eutectic Castolin, em especial aos senhores Manoel, Patrik e Domingues.

Ao laboratório de engenharia química da UFTM, em especial a Karen Santos Silva.

Ao laboratório de metalografia da UFU, em especial a Rosângela.

À empresa Serraço S.A, em especial aos senhores Júlio e Sérgio.

# SUMÁRIO

<b>Resumo</b>	<b>i</b>
<b>Abstract</b>	<b>ii</b>
<b>Lista de abreviaturas e símbolos</b>	<b>iii</b>
<b>CAPÍTULO I – Introdução</b>	<b>01</b>
<b>CAPÍTULO II – Revisão Bibliográfica</b>	<b>05</b>
2.1 Entendendo o Setor Sucroalcooleiro	05
2.2 Descrição das Etapas produtivas de uma Unidade Produtiva	09
2.2.1 Setor de Extração do Caldo	10
2.2.2 Rolos de Moenda	17
2.3 Desgaste em Moendas	21
2.4 Manutenção no Setor Sucroalcooleiro	25
2.4.1 Manutenção em Rolos de Moenda Durante a Safra	26
2.4.2 Manutenção em Rolos de Moenda Durante a Entressafra	27
2.5 Microestrutura do Revestimento Duro	32
<b>CAPÍTULO III – Procedimentos Experimentais</b>	<b>35</b>
3.1 Experimentos em Campo	35
3.1.1 Equipamentos	36
3.1.2 Metal Base	39
3.1.3 Metal de Adição	39
3.1.4 <i>Procedimento para Coleta de Materiais Respingados</i>	39
3.1.5 <i>Procedimento para Aquisição de Dados de Parâmetros de Aplicação de Chapisco</i>	41
3.1.6 <i>Definição dos Parâmetros de Chapisco</i>	41
3.2 Experimentos em Laboratório	43
3.2.1 Equipamentos	43
3.2.2 Materiais e Consumíveis	45
3.2.3 Procedimentos para Coleta de Materiais Respingados	45

3.3	Análise Estatísticas	45
3.4	Análise Metalográfica	46
3.5	Definição do Padrão Dimensional do Revestimento Duro	48
<b>CAPÍTULO IV – Experimentos em Laboratório</b>		<b>51</b>
4.1	Ensaio com Variação na Velocidade e Tensão de Aplicação do Chapisco com Água Utilizado o Procedimentos de Coleta de Respingos	52
4.2	Resultados com Variação na Velocidade de Chapisco, da Tensão de Chapisco Desejada e Utilizado o Procedimentos de Coleta de Respingos Aplicados a Seco	57
4.3	Comparação dos Resultados com Aplicação a Seco e com Água (item 4.2 e 4.3)	60
4.4	Resultados com Variação na Velocidade e Tensão de Chapisco Desejada Utilizado o Procedimentos de Pesagem do Corpo de Prova com Aplicação a Seco	61
4.5	Análise Metalográfica do Revestimento	63
4.6	Comentários Finais	65
<b>CAPÍTULO VI – Experimentos em Campo</b>		<b>67</b>
5.1	Resultados com variação na velocidade de aplicação de chapisco	67
5.2	Resultados com variação das condições de aplicação de chapisco (seco ou com água) e velocidades de chapisco	73
5.3	Resultados com Variação da Corrente e Velocidade de Chapisco	76
5.4	Resultados com Variação do Ângulo e Velocidades de Chapisco	85
5.5	Resultados com a moenda girando no sentido anti-horário e com variação na Velocidades de Chapisco	87
5.6	Considerações Finais	91
<b>CAPÍTULO VI – Conclusões</b>		<b>93</b>
<b>CAPÍTULO VII – Proposta para Trabalhos Posteriores</b>		<b>95</b>
<b>CAPÍTULO VIII – Referências Bibliográficas</b>		<b>97</b>



MURAD, M. Q. **APLICAÇÃO DE CHAPISCO EM MOENDA DE CANA DE AÇÚCAR COM O PROCESSO FCAW**. 2015. 95p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

## RESUMO

*A redução de custo tem se tornado cada dia mais uma abordagem com o objetivo de se tornar as empresas mais competitivas. Trabalhos para reduzir os desgastes dos equipamentos no setor sucroalcooleiro tem ido de encontro a essa meta. Este trabalho tem como objetivo estudar a influência de parâmetros de aplicação de chapisco, como velocidade, tensão, corrente, condição de aplicação (seco ou com água), sentido de rotação da moenda, ângulo de aplicação do arame e corrente no rendimento de deposição na utilização do processo “arame tubular auto-protegido”, consumível comumente usados na indústria sucroalcooleira, como metal de adição para aplicação de revestimento duro, em camisas de moendas. O metal utilizado para aplicação deste revestimento é uma liga FeCrC. Em uma primeira fase foram realizados experimentos em laboratório e numa fase posterior foram realizados experimentos em campo, em uma empresa de bens de capital que realiza este serviço. Os resultados obtidos mostraram que a redução da velocidade de aplicação de chapisco reduz as perdas do metal de adição. Outros ensaios com a variação da corrente e tensão, apresentaram redução do rendimento de deposição. Ensaio variando o sentido de giro e ângulo de aplicação não se apresentaram como significativos para influenciar o rendimento de deposição. Por fim, a aplicação a seco, apesar de apresentaram resultados positivos no rendimento de deposição, não foram aprovados no aspecto de qualidade.*

**Palavras-chaves:** *Arame Tubular Autoprotégido, Chapisco, Moenda, Revestimento Duro e Resistência ao Desgaste.*

MURAD, M. Q ROUGHCAST APPLICATION IN SUGAR CANE MILLING WITH THE PROCESS FCAW.2015. 95p. M. Sc Dissertation, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG - Brasil.

## ABSTRACT

Cost reduction has become an approach adopted by a growing number of companies aiming to become competitive. Works to reduce the wearing of equipment in the sugarcane sector have met that goal. This work aims to study the influence of parameters such as speed, voltage, current, application in dry and wet conditions, direction, angle and roughcast current in the deposition efficiency in the use of the process "self-protected cored wire", consumables commonly used in the sugar industry as filler metal for hard coating application in mills shirts. The metal used for the application of the alloy coating was FeCrC. In the first phase, experiments were carried out in a laboratory and, at a later stage, field experiments were conducted in a company of capital goods which performs this service. In a second step, tests were carried out in a company of capital goods which performs this work. The results showed that the reduction of roughcast application rate reduces losses. Further, tests varying current and voltage have showed reduction in deposition efficiency. Tests varying the direction of rotation as well as angle of application have not presented any significant results for deposition efficiency. Finally, both dry and wet application conditions, although tested positive result in the deposition efficiency, have not passed the quality aspect evaluation.

**Keywords:** *Selfshielded tubular wires, roughcast, Sugar Mill, Hardfacing, Knives cutting and Wear resistance.*

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

*Ac* = Ângulo de Chapisco  
*Al* = Alimentação  
*ALG* = Alongamento  
*AWS* = American Welding Society  
*C* = Carbono  
*Cap.* = Capítulo  
*CP* = Corpo de prova  
*Cr* = Cromo  
*DBCP* = Distância bico de contato-peça  
*DP* = Desvio padrão  
*ES* = Energia de soldagem  
*FCAW* = Processo de soldagem por arame tubular  
*FeCrC* = Arame de liga ferro-cromo-carbono  
*FP* = Fator de Correção  
*HB* = Dureza Brinell  
*HV* = Dureza Vickers  
*I<sub>D</sub>* = Corrente desejada  
*I<sub>m</sub>* = Corrente média  
*L* = Largura do cordão  
*L<sub>a</sub>* = Comprimento de arame alimentado durante a soldagem  
*LE* = Limite de Escoamento  
*LR* = Limite de Ruptura  
*Mn* = Manganês  
*MO* = Mão de Obra  
*MP* = Matéria Prima  
*P* = Fósforo  
*p* = Significância estatística em teste de hipótese  
*R<sup>2</sup>* = Coeficiente de Determinação  
*Rd* = Rendimento de deposição  
*Resp* = Respingo  
*S* = Enxofre  
*Si* = Silício  
*SMAW* = Processo de soldagem por eletrodo revestido  
*TE* = Tempo de Execução  
*ton* = Tonelada  
*U\$* = Dólar Americano  
*U<sub>d</sub>* = Tensão desejada  
*U<sub>m</sub>* = Tensão média  
*V<sub>a</sub>* = Velocidade de alimentação do arame  
*V<sub>c</sub>* = Velocidade de chapisco



# CAPÍTULO I

## Introdução

A redução de custo e as melhorias nos processos de fabricação tem se mostrado um fator de suma importância para a sobrevivência das empresas neste tempo de globalização.

Não diferente deste cenário, o setor sucroalcooleiro brasileiro tem apresentado um expressivo crescimento nos últimos anos, e assim, experimentado o grande aumento da concorrência, tanto interna como a de outros países.

Com o objetivo de reduzir os custos e assim tornar o empreendimento mais competitivo, a gestão da manutenção industrial tem desenvolvido ferramentas tais como algumas técnicas para reduzir o mecanismo de desgaste dos equipamentos.

A moenda, um equipamento destinado ao processo de extração do caldo da cana de açúcar, fica sujeita durante a sua operação a grandes tensões em meios agressivos. Desse modo, nas ranhuras (dentes) da moenda, como mostra a Fig. 1.1, é aplicada uma camada de revestimento duro, chamado de chapisco.

Tal revestimento tem dois objetivos básicos. O primeiro é a proteção da camisa da moenda quanto ao desgaste e o segundo é que ele torna-se uma forma de aumentar a produção da moenda, aumentar a “pega”, ou seja, aumentar o atrito entre a cana e o metal, proporcionando uma maior produção.

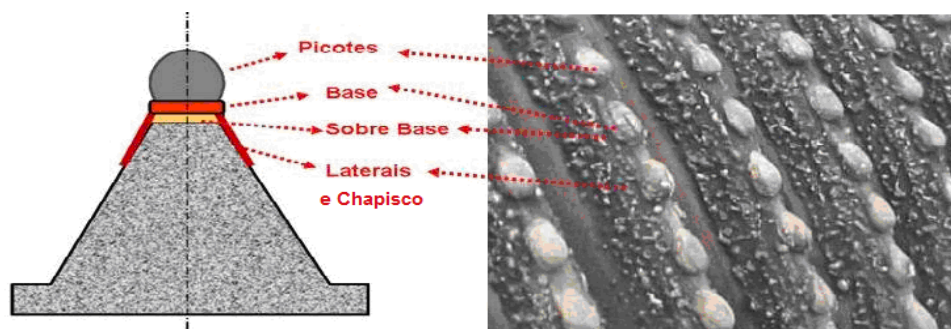


Figura 1.1. Aplicação de revestimento duro nas ranhuras (dentes) da moenda

O chapisco é aplicado na moenda em duas fases distintas, a primeira na preparação da moenda para a safra, onde após conclusão da safra, as moendas tem suas camisas de ferro fundido usinadas e submetidas a uma usinagem para retirada do revestimento antigo e uma nova aplicação de revestimento. Este processo é feito de 3 a 5 vezes, enquanto a camisa da moenda permitir a usinagem sem, contudo, perder as dimensões mínimas necessárias para a sua funcionalidade e resistência do material fundido. Em outra fase, o chapisco é também aplicado durante toda a safra com a moenda em operação para garantir produtividade da moenda e proteção das camisas de moenda.

Para a aplicação do chapisco utiliza-se os processos de soldagem por Eletrodo Revestido (SMAW - *Shielded Metal Arc Welding*), que é de baixo custo e versatilidade na aplicação da solda, ou o Arame Tubular (FCAW – *Fluxed Cored Arc Welding*) que oferece alta produtividade. Este segundo tem sido aprimorado com o objetivo de redução de custo e melhoria na qualidade dos revestimentos, além da versatilidade, tornando-se atualmente o favorito na indústria sucroalcooleira.

Segundo Wainer (1991), a resistência à abrasão é proporcional à dureza superficial. Lima e Ferraresi (2009) afirmam que a microestrutura dos revestimentos tem papel preponderante no seu desempenho em termos de resistência ao desgaste. Ligas do tipo FeCrC são usadas onde ocorre desgaste abrasivo. Sua composição pode ser ajustada de forma a produzir a solidificação da poça de fusão, obtendo-se uma microestrutura rica em carbonetos de cromo em uma matriz eutética. Metais de adição com o mesmo objetivo foram fabricados para casos de aplicação de chapisco, tal como o arame tubular com altos teores de carbono e cromo, de forma a obter uma liga com alto teor de carbonetos de cromo de alta dureza e resistência à abrasão.

Sabe-se que a previsão para a safra 2014/2015 será a produção de mais de 590 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (ÚNICA, 2014), e que estas consomem em média de 5 gramas de metal de adição para cada tonelada de cana moída quando se utiliza o eletrodo revestido. Quando a aplicação é feita com arame tubular este valor gira em torno de 10 gramas para cada tonelada de cana moída. Com isso, o consumo de metal de adição para este tipo de revestimento (chapisco), está estimado em 3,5 milhões de quilogramas, ou o equivalente a um custo estimado de aproximadamente R\$ 50 milhões de reais por ano com esta aplicação de revestimento de moendas apenas com material de deposição, sendo que 70% desse consumo é com eletrodo revestido a um custo de R\$ 10,00 por quilograma e 30 % de arame tubular a um custo de R\$ 20,00 por quilograma (EUTECTIC & CASTOLIN, 2014), além de R\$ 8 milhões com mão de obra, equipamentos e outros custos de soldagem não citados aqui.

Segundo Santos (2001), é esperado um rendimento de deposição de 50% para aplicação do revestimento supracitado quando se utiliza o arame tubular, e, para o eletrodo, espera-se

30%. Acredita-se que melhorias nos parâmetros de aplicação do chapisco possam aumentar a eficiência do rendimento de deposição, contribuindo para a redução de custos, ou seja, para cada 1% na melhoria da eficiência de deposição significaria R\$ 500 mil de economia no consumo anual de metal de adição.

Assim o objetivo deste trabalho é estudar e comparar as influências dos parâmetros de aplicação de chapisco no rendimento de deposição pelo processo arame tubular autoprotégido. Foram variados os seguintes parâmetros: corrente, tensão e velocidade de aplicação do chapisco, ângulo entre a tocha e a superfície do dente da moenda, aplicação do chapisco com e sem água e inversão do sentido de aplicação do chapisco.

Para alcançar este objetivo foram realizados experimentos no laboratório de soldagem (Laprosolda) da Universidade Federal de Uberlândia e nas instalações da empresa Simisa S.A., empresa está fabricante de bens de capital, especificamente de camisas de moenda.

## **CAPÍTULO II**

### **Revisão Bibliográfica**

Será apresentada neste capítulo uma revisão bibliográfica dos aspectos teóricos para fundamentar o presente estudo. Tratar-se-á de uma visão básica do setor sucroalcooleiro e das suas fases de processo, em específico o setor de extração do caldo e com detalhes para os rolos de moendas. Uma breve citação das teorias clássicas sobre desgaste também será abordada. Por fim, faz-se uma breve abordagem sobre os fundamentos dos processos de revestimento duros e dos aplicáveis em rolos de moendas.

#### **2.1 Entendendo o Setor Sucroalcooleiro**

Dentre os países que mais se destacam na produção de agronegócio, o Brasil é referência, sendo um dos maiores produtores de cana-de-açúcar do mundo segundo a União da Agroindústria Canavieira de São Paulo – ÚNICA (2014). Na safra 2014/2015 (ano calendário 2014) foram produzidos aproximadamente 580 milhões de toneladas de cana-de-açúcar.

Segundo Macedo (2005) e Vecchia (2010), o Brasil congrega as melhores condições em relação aos demais países em termos de tecnologia, disponibilidade de recursos naturais, clima e solo para o cultivo da cana. O setor é reconhecido como o mais eficiente do mundo em termos de tecnologia e gestão, bem como em implantação e geração de tecnologia da agricultura tropical (VECCHIA, 2010).

O Brasil ocupa o primeiro lugar na produção mundial de açúcar, responsável por 25% da produção mundial e 50% das exportações mundiais, além de ser o segundo maior produtor mundial de etanol, responsável por 20% da produção mundial e 20% das exportações mundiais (UNICA, 2014).

Em se tratando de futuro, o setor é muito promissor na produção de álcool, outro produto tipicamente desenvolvido em usinas. Para se ter uma ideia de sua importância pode-



se citar o caso da União Europeia, cujo consumo mundial pode passar de 175 bilhões de litros até 2020, sendo que hoje a produção global gira em torno de 90 bilhões de litros (UNICA, 2014).

Completando o quadro dos produtos oferecidos pelo setor, há também a geração de energia elétrica, com base na queima do bagaço da cana. Produto este que compõe a cogeração com base na queima da biomassa (lenha, produtos da cana e outros). Na figura 2.1, apresenta um crescimento da utilização da biomassa na geração de energia elétrica, onde se prevê uma expansão de 5,1% em 2010 para 10% em 2020 (MME, 2013).

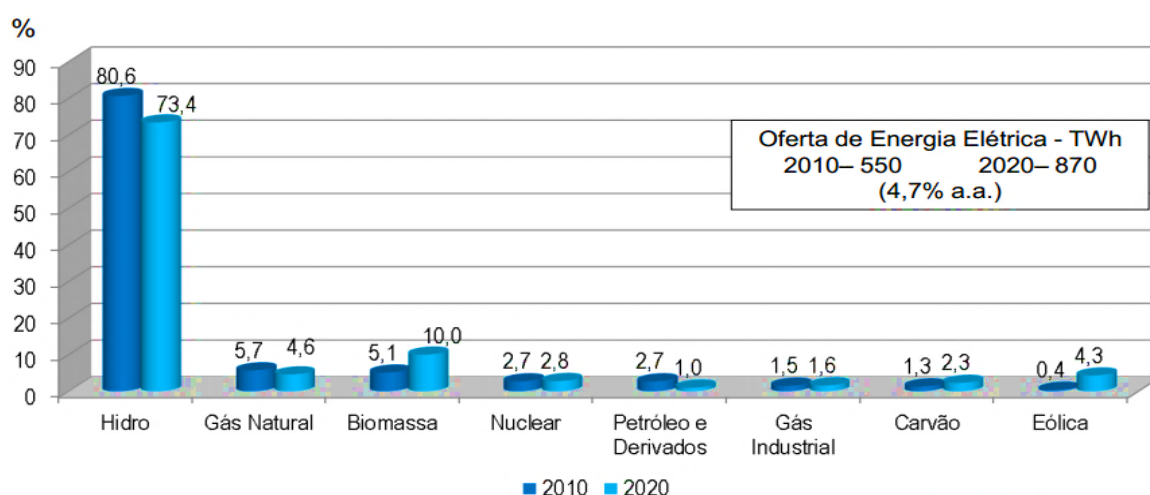


Figura 2.1 – Matriz de oferta de energia elétrica (Fonte – MME,2013)

Ainda de acordo com o numerário levantado pela Unica (2014), o Brasil conta com 430 unidades produtoras que geram 1,2 milhões de empregos diretos, além de possuir um PIB setorial de 48 bilhões de dólares sendo 15 bilhões relativos às exportações.

Projetos voltados à produção de etanol e do biodiesel também se fazem atrativos para investidores estrangeiros. Por serem alternativas mais econômicas e ecologicamente viáveis à substituição dos combustíveis fósseis e também por serem menos poluentes e caras, a geração de energia com o uso de produtos agrícolas representa a segunda principal fonte de energia primária do país. O consumo do álcool supera o da gasolina e o biodiesel já conta com participação relevante na matriz de combustíveis devido à mistura obrigatória com a gasolina (MONTEIRO NETO, 2005).

O atendimento das demandas internas e externas por produtos sucroalcooleiros justifica o crescimento mostrado na Tab. 2.1, em que se pode verificar o aumento de sua produtividade entre o período de 1980 a 2013:

Tabela 2.1 – Evolução da produtividade

Safras	Cana-de-açúcar (ton)	Açúcar (ton)	Etanol (10 <sup>6</sup> litros)
1980/1981	123.681.000	8.226.000	3.706
2014/2015	588.370.000	38.237.000	23.209

(Fonte: UNICA, 2014)

O custo de produção de seus produtos é um dos mais baixos do mundo, tal fator leva o Brasil a competir com mais chances de sucesso no mercado internacional. Tal possibilidade de desempenho deve-se, em grande parte, ao seu clima privilegiado, aos solos férteis, a disponibilidade de água, a biodiversidade e também ao incentivo ao avanço científico-tecnológico por intermédio de pesquisas e desenvolvimento (MONTEIRO NETO, 2005).

Todos os itens citados acima se mostraram favoráveis para o crescimento do setor, aliando-se ao fato, talvez o mais expressivo, do custo, pois as *commodities* deste setor possuíam preço bastante competitivo no mercado internacional, devido aos seus baixos custos de produção.

Na Tabela 2.2 podem-se visualizar alguns dos custos dos principais concorrentes do setor de álcool e açúcar brasileiro, onde o custo de produção do açúcar e do álcool foi relacionado comparativamente entre os principais competidores do mercado internacional:

Tabela 2.2 – Custo de produção do açúcar e do etanol

Pais Produtor	Matéria Prima	Açúcar (U\$/ton)	Etanol (U\$/litro)
<b>Brasil</b>	Cana-de-açúcar	120	0,20
<b>Tailândia</b>	Cana-de-açúcar	178	0,29
<b>Austrália</b>	Cana-de-açúcar	195	0,32
<b>EUA</b>	Milho	290	0,47
<b>União Europeia</b>	Beterraba/Cereais	760	0,97

(Fonte: UNICA, 2013)

O setor vive uma constante evolução para se tornar mais competitivo nas cadeias de abastecimento e de negócios que envolvem desde os fornecedores até os consumidores finais, passando pela produção, compra, gestão de materiais, marketing, vendas e distribuição física. Neste sentido, Sobral e Perci (2013) citam que devido a esse novo cenário de economia em que o Brasil se insere, promovem crescentes pressões para a adoção de práticas gerenciais mais efetivas, que capacitem as empresas a serem mais competitivas.

Segundo Monteiro Neto (2005), tal mercado é, entretanto, volátil e apresenta grandes oscilações de preços, o que reforça cada vez mais a necessidade das empresas buscarem ferramentas com especial ênfase no aumento da produção, da manutenção e da modernização das unidades produtoras e das unidades armazenadoras, não se dando ao luxo de sobreviver de sua tradição histórica.

Por se tratar de um meio extremamente competitivo, estas condições fazem com que as empresas busquem também cada vez mais a redução de custos em seu processo produtivo para que elas se garantam entre as mais eficientes e consigam a sua fatia do mercado. Tal fato é reforçado pelas previsões de que o Brasil terá fortes concorrentes no mercado de etanol ao longo dos próximos anos (SOBRAL; PECI, 2013).

A concorrência está cada vez mais acirrada, exigindo um ambiente de negócios cada vez mais veloz. No entanto, não basta agir com rapidez, pois o sucesso ou o insucesso das organizações dependerá da qualidade de suas ações (SOBRAL; PECI, 2013).

Segundo Werkema (1995), as ações voltadas à gestão nas organizações devem ser precisas quando se define o objetivo a ser alcançado. Neste contexto, entende-se que a busca contínua da qualidade em produtos e serviços tenha foco na competitividade, devendo mobilizar os funcionários que, por sua vez, devem agir com preocupação em relação à necessidade de sobrevivência da empresa onde trabalha no mercado e buscar melhoria constante em seu desempenho nos processos em comparação com empresas concorrentes. Dentre os vários caminhos a serem seguidos, o gerenciamento da manutenção dos ativos da empresa torna-se um fator essencial para conseguir o sucesso das organizações (KARDEC, 2002).

Explica Branco Filho (2006), que é pela gestão da manutenção ou gerenciamento dos ativos que as organizações tentam evitar as falhas de seus ativos. Os benefícios de uma gestão eficaz são significativos e contribuem de forma expressiva para o sucesso das organizações (SLACK ET AL, 2009).

A missão do setor de manutenção se resume em garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo produtivo. É imprescindível que o setor leve em conta fatores como confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados (SLACK ET AL, 2009).

Quando a manutenção começa a ser vista como uma função estratégica dentro das unidades de negócios, há o surgimento não somente de novas tecnologias de monitoramento e reparo dos ativos industriais, como também novos modelos de direcionamento dos recursos de capital necessários à atividade de manutenção (KARDEC, 2002). Nota-se que, ao longo do tempo, muitas técnicas e filosofias surgiram para consolidar os avanços e buscar cada vez

mais o aumento da eficiência de equipamentos e processos visando a redução de custos, afirma Branco Filho (2006).

Segundo Siqueira (2005), a missão é alcançada quando ocorre a prevenção ou a correção de falhas, e quando se passa a conhecer os mecanismos dos sistemas de falhas. Complementa Branco Filho (2006) que além de conhecer tais mecanismos, estes devem ser também medidos e controlados.

De acordo com Slack et al (2009), a identificação de como as empresas devem gerenciar suas falhas e como deve ser feito este planejamento torna-se fundamental para a sobrevivência e para a continuidade do processo. Afirma Siqueira (2005) que a melhoria dos processos é gradativa e deve exaurir as etapas do processo ao priorizar a correção de falhas e eliminação das origens de falhas.

Alinhado com o que foi dito até o momento, o estudo aqui realizado objetivou aumentar a disponibilidade das moendas, tratando do item aplicação de técnicas para reduzir o desgaste do equipamento e pretende contribuir para o aumento da confiabilidade dos equipamentos e sua eficiência e assim proporcionar uma redução de custo como resultado final. Sendo está uma das ações que podem ser realizadas pelas as empresas em busca de se tornar mais competitiva.

Trabalhos com foco nas atividades de aplicação de chapisco em moendas, proporciona melhoria tanto da eficiência deste processo gerando redução de custos, quanto melhoria na produtividade e ganhos em relação a perda de matéria prima. Por exemplo, em relação ao custo, já citado na introdução deste estudo, a cada 1% de melhora na eficiência da aplicação do revestimento gera uma redução de 500 mil reais em insumos para aplicação de chapisco. Outro aspecto relevante em manter a qualidade do chapisco, e o aumento da produção da moenda, quando se trata de manter a “pega” dos frisos e também em reduzir as perdas da extração, ou seja não retirar o máximo da sacarose contida na cana.

## **2.2 Descrição das Etapas produtivas de uma Unidade Produtiva**

O transporte da matéria prima da lavoura até a unidade industrial é feito, na maioria das vezes, por caminhões, mas podem ser utilizados a ferrovia e a hidrovia, meios estes poucos utilizados no Brasil. A carga transportada pesa aproximadamente 10 a 20 toneladas quando se transporta cana inteira e de 25 a 30 toneladas quando se transporta cana picada. Hoje, há caminhões com capacidade para até três ou quatro carrocerias em conjunto, aumentando muito a capacidade do transporte.

Depois de cortada e transportada para a usina, a cana-de-açúcar é enviada para um setor denominado Setor Industrial, que se divide em setores:

- Extração do Caldo
- Tratamento de Caldo
- Fabricação de Açúcar
- Fabricação do Álcool
- Geração de Vapor
- Geração de Energia Elétrica

Devido ao tema deste estudo, será apresentado apenas o setor de extração do caldo, setor este onde é aplicado o revestimento, foco de deste estudo

### *2.2.1 Setor de Extração do Caldo*

O setor de Extração do Caldo é organizado em divisões: a recepção de cana, o preparo e a extração do caldo propriamente dita. O estudo desta última, justifica-se pelo fato de ser este o local onde se encontram instalados os ternos de moenda o qual será apresentado no item 2.2.2 deste texto, e por ser este o objeto de estudo da aplicação dos revestimentos duros nas camisas das moendas.

De modo geral a recepção da cana segue os seguintes procedimentos:

- 1- **Pesagem:** O peso da cana recebida será a diferença entre o peso do veículo antes e depois da descarga da cana. Este peso é relacionado com a indicação do local da colheita e o número do veículo. A Figura 2.2 (a) mostra o caminhão na balança.
- 2- **Amostragem:** É obtida uma amostra de cana que será analisada no laboratório para a determinação dos açúcares totais recuperáveis (ATR), ou seja, a quantidade de açúcar que a cana possui. Esta amostra é obtida através de um equipamento específica para este fim, com a cana ainda no caminhão, como é mostrado na Fig. 2.2 (b);

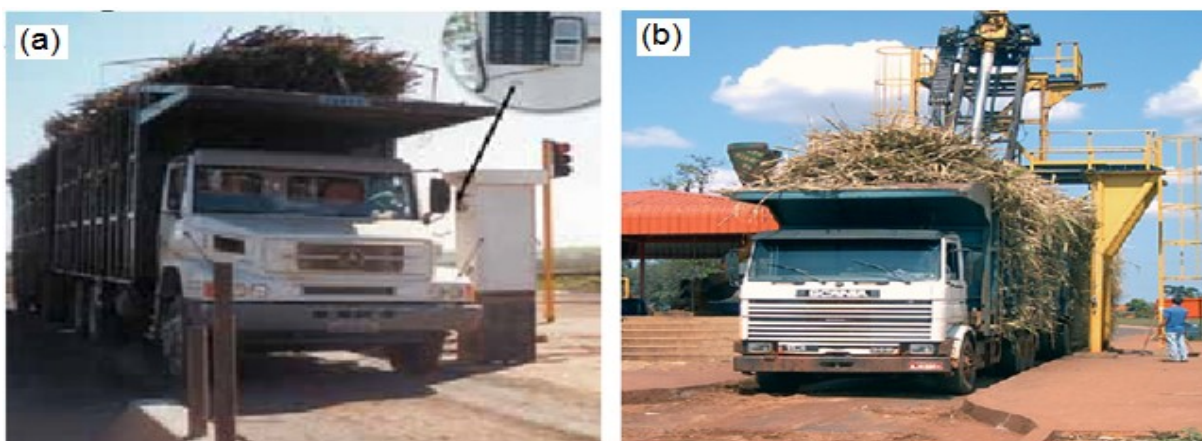


Figura 2.3 – Análise da matéria prima: (a) pesagem; (b) sistema de amostragem de cana

3- Estocagem: A estocagem é feita para suprir possíveis faltas de matéria prima, por motivo de chuva ou por falha no transporte.

Esta matéria prima é descarregada em um equipamento chamado mesa alimentadora que consiste em um condutor muito largo e muito curto acionado por motores. Estes equipamentos possuem duas funções básicas, sendo a primeira a função de abastecimento contínuo e a segunda a função de realizar a limpeza da cana que pode ser por via úmida ou por via seca, como pode ser vista na Figura 2.3 (HUGOT, 1986).

Complementando o aspecto de limpeza, explica Payne (1989), as etapas essenciais na limpeza são:

1- Remoção de pedras e areia: A limpeza da cana para retirada dessas impurezas é feita através de banho hidráulico, no qual as pedras, os seixos e a areia, por possuírem maior densidade, vão para o fundo;

2- Lavagem: Nesse processo a cana é lavada em uma esteira por um fluxo turbulento de água eliminando a terra pelas ranhuras da rampa;

3- Remoção de impurezas fibrosas: A redução de ponteiros, folhas e raízes é feita por meio de rolos eliminadores de impurezas.

A limpeza efetuada sobre as mesas alimentadoras visa a retirada de matérias estranhas como terra, areia, etc., com a finalidade de obtenção de um caldo de melhor qualidade e aumento da vida útil dos equipamentos pela redução do desgaste, principalmente as moendas, que sofrem desgaste excessivo de impurezas.

**Limpeza Via Úmida**



**Limpeza Via Seca**



Figura 2.3 - Limpeza da cana (a) via úmida e (b) via seca

A próxima etapa do consiste no transporte da cana por transportadores metálicos para a segunda divisão, onde se inicia o processo de preparo da cana (Fig. 2.4), composto por um conjunto de picadores de cana que variam de um a dois conjuntos, e por um sistema de desfibramento da cana picada.

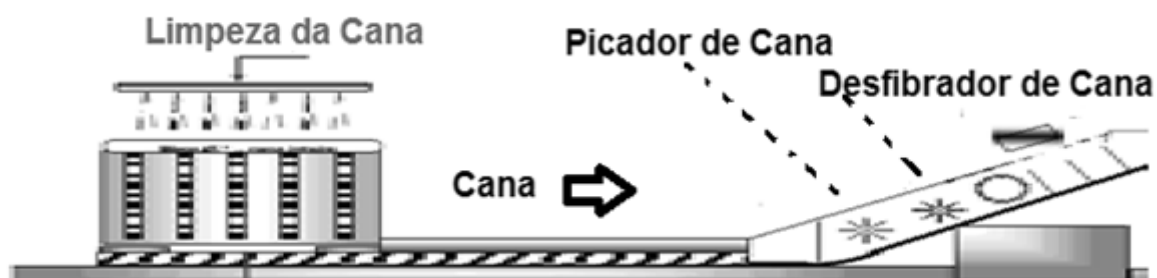


Figura 2.4: Divisão de Preparo de Cana

Após o preparo da cana, a mesma possuirá um aspecto de desfibrada. O objetivo principal desta etapa do processo é preparar a cana a ser moída, e, assim, garantir maior eficiência de extração. Na Figura 2.5, pode-se visualizar o produto antes e depois do setor de preparo de cana. Um processo de separação de impurezas e abertura das fibras propicia, além do aumento de produtividade, um aumento da vida útil dos equipamentos e, em específico, dos rolos de moenda, foco deste trabalho.

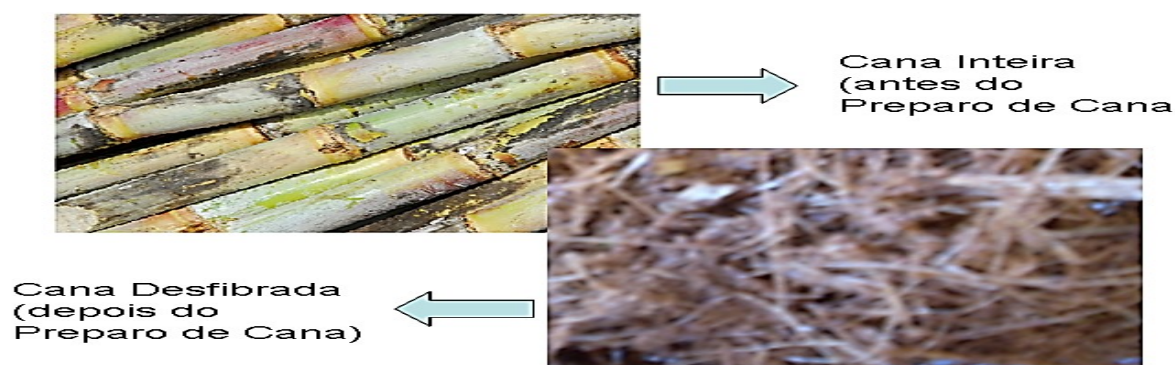


Figura 2.5 – Matéria prima

Nesta divisão (preparo da cana), pode-se destacar dois equipamentos:

- Picador de cana. São geralmente usados picadores de facas do tipo niveladoras (regulariza e uniformiza a carga de cana) e cortadoras (reduz a massa heterogênea de cana em massa uniforme e homogênea); conforme podem ser vistos na Fig. 2.6.

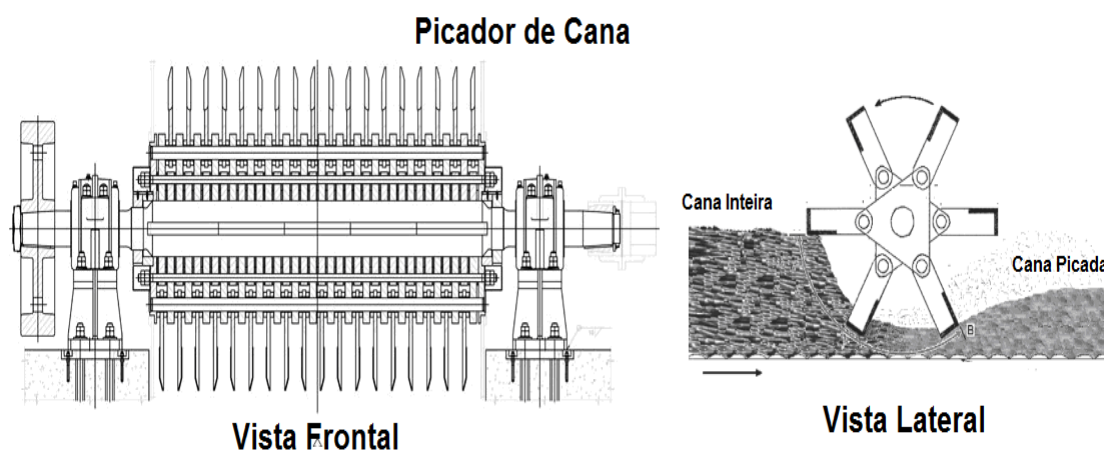


Figura 2.6 – Picador de cana (Fonte: HUGOT, 1986)

- Desfibrador de Cana. Segundo Hugot (1986), consta de um cárter cilindro, provido em seu interior de um rotor com série de martelos oscilantes que trabalham sobre barras desintegradoras. A cana picada é alimentada no equipamento pela parte superior e é descarregada triturada pela parte inferior (Fig. 2.8).





Figura 2.8 – Desfibrador de cana (Fonte: Fivesgroup, 2013)

Payne (1989), descreve o desfibrador de martelos pesados, que, em resumo, desfibra a cana, como sendo um equipamento que proporcionará ao processo um índice de preparo que contribuirá para o aumento do índice de extração, em que a cada incremento de 4% no índice de preparo resultará num aumento de 15% no índice de extração. Após a cana ser preparada, o próximo passo do processo é a divisão de extração do caldo.

Segundo Hugot (1986), as vantagens de se preparar a cana antes da moagem são:

- Aumenta a capacidade das moendas, transformando a cana numa massa compacta e homogênea, facilmente absorvida pelo esmagador;
- Aumenta a extração das moendas, rompendo o córtex da cana e facilitando assim sua moagem e extração do caldo.

A divisão de extração do caldo, é onde são instaladas os conjuntos de moendas, e podem apresentar configurações que podem variar de 4 a 6 ternos. Quanto maior o numero de ternos maior será a extração. A Figura 2.8 da uma visão geral desta divisão.



Figura 2.8 – Setor de extração do caldo (Fonte: Empral, 2015).

A moagem é basicamente a separação de materiais. Num conceito simples, a cana constitui-se em uma fração sólida (fibra), e a outra líquida (caldo), que devem ser separados para a produção de açúcar ou álcool. Esta separação é mais comum de ser realizada em dois processos que podem ser denominados como extração por moagem ou por difusão.

Castro e Andrade (2006) explicam que a moagem é a operação que visa a extração da sacarose. A separação é realizada por um equipamento denominado moenda. O caldo é expelido da fibra após sucessivas aplicações de pressões quando este entra em contato com os rolos de moenda.

Hugot (1986) complementa estas afirmações quando explica que a moenda ou esmagador é o equipamento (terno de moenda) que a cana passa após ser desfibrada para a retirada do caldo. Este equipamento é constituído de 2 ou 3 eixos, que é chamado de Rolos de Moenda.

Para uma completa extração deste caldo, utiliza-se de água ou condensado no último terno de moenda. O resultado dessa extração é enviado para o terno anterior que servirá de embebição. Assim sucessivamente até o segundo terno formando assim o caldo secundário. Apenas o primeiro terno não é embebido, formando um caldo denominado caldo primário, bem mais rico em sacarose que o caldo secundário. Este procedimento é adotado por todas as usinas que realizam a extração do caldo com ternos de moenda (Fig. 2.9)

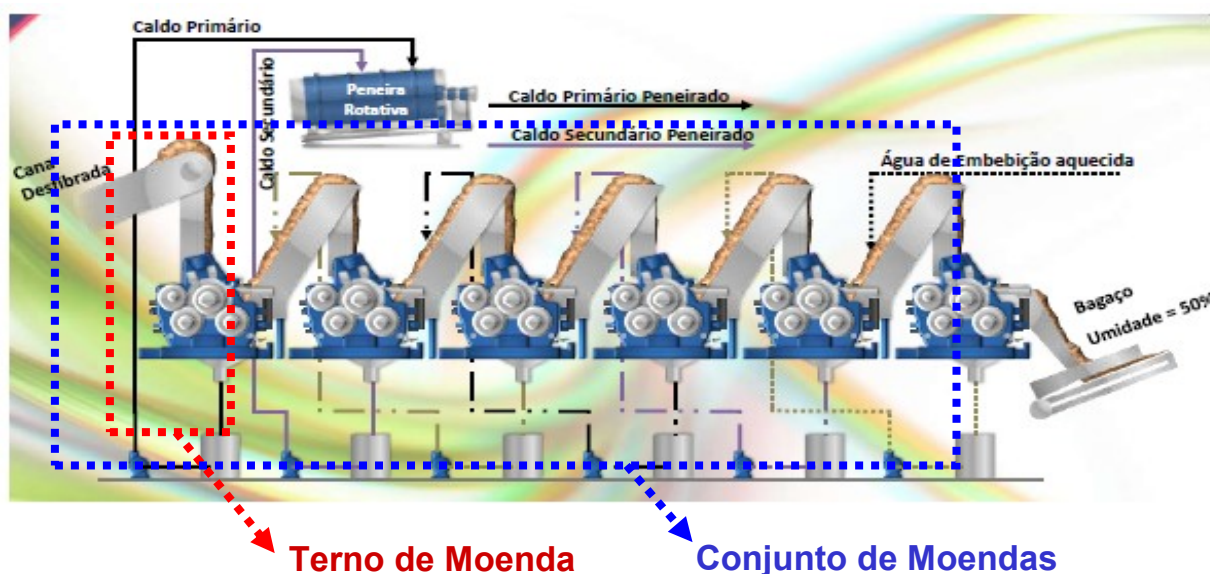


Figura 2.9 – Conjunto de moendas (Fivesgroups, 2013)

Castro e Andrade (2006) citam que a eficiência de esmagamento é função dos números de compressões, da pressão efetiva, do grau de ruptura das células (eficiência de

preparo antes da moagem), da eficiência de drenagem do equipamento e das propriedades das fibras.

Os conjuntos de moendas mais usuais no Brasil variam de quatro a seis ternos. Em algumas unidades produtoras existe até o sétimo terno. Na grande maioria dos projetos no Brasil, cada terno possui três rolos de moagem e um quarto que tem a finalidade de forçar a alimentação, chamado de rolo de pressão.

Os três rolos de um terno de moenda convencional são montados em triângulo tal que a cana desfibrada seja esmagada duas vezes, no mesmo terno de moenda, ou seja, ela será pressionada entre a moenda superior e a de entrada e depois entre a moenda superior e a de saída. Ao passar pelo rolo superior e de entrada, a cana desfibrada é conduzida por sobre uma bagaceira até o rolo de saída. Os rolos são acionados por pinhão do rolo superior e por ação de engrenagens, chamadas de rodetes, que transmitem movimentos aos outros rolos (Fig. 2.10).



Figura 2.10 – Terno de moenda (Fonte: Brumazi, 2013)

Um terno de moenda é composto de um rolo de pressão, um rolo superior, um rolo inferior e um rolo de saída (Fig. 2.11 e Fig. 2.12), onde o primeiro não é fixo na vertical, pois recebe uma carga de pressão hidráulica para melhorar a extração, enquanto que os outros dois são fixos. Tal flutuação do rolo superior tem objetivo a adaptação às variações de matéria prima (HUGOT, 1986).

Logo após a cana sair da segunda dupla de rolos (rolo de saída e superior), ela recebe a embebição, ou seja, ela será umidificada para uma posterior moagem e isso acontecerá sucessivamente, com exceção do último terno.

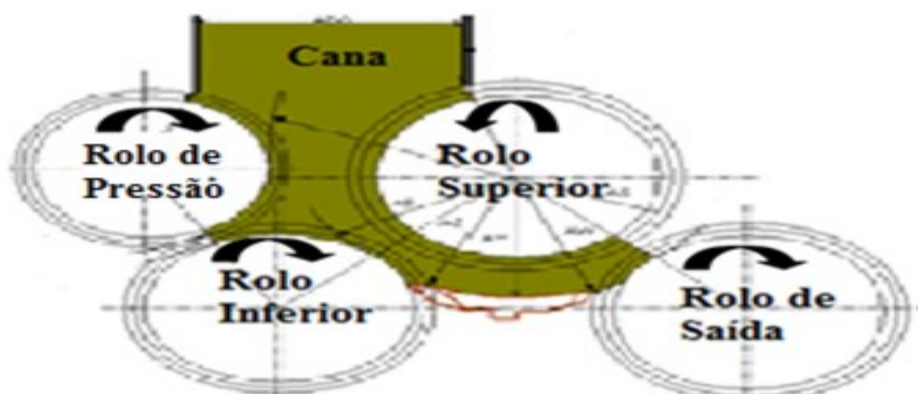


Figura 2.11 – Vista lateral dos rolos de moendas e sentidos de rotação

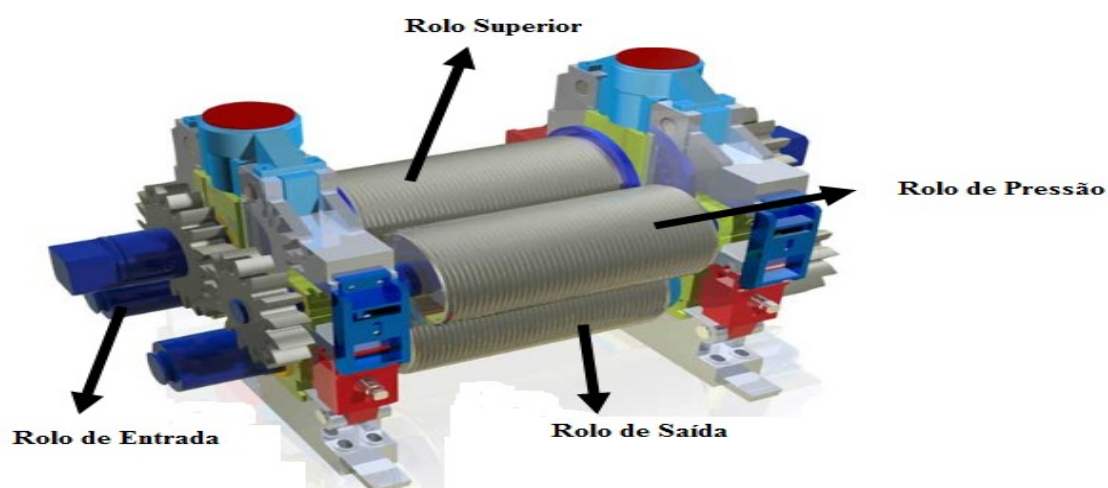


Figura 2.12 – Vista geral do rolos de moendas (Fonte: Fivesgroups, 2013)

Os ternos de moendas podem ser acionados por turbinas a vapor, motores elétricos e mais recentemente por motores hidráulicos (HUGOT, 1986).

## 2.2.2 Rolos de Moenda

Os rolos de moenda (Fig. 2.13) são conjuntos montados com um eixo, que na maioria das vezes é fabricado de aço forjado SAE 1045, normalizado, temperado e revenido, com resistência à tração variando de 58 a 70 kgf/mm<sup>2</sup> e posteriormente montado em uma camisa, que podem ser fabricadas em ferro fundido nodular DIN 1693 – GGG-60, com resistência à tração mínima de 60 kgf/mm<sup>2</sup>, ou fabricadas em ferro fundido cinzento com resistência à



tração mínima de 20 kgf/mm<sup>2</sup> e por fim também podem ser fabricadas de aço fundido, ASTM A27 N2, com resistência à tração mínima de 50 kgf/mm<sup>2</sup> (DEDINI, 2010). Segundo Bottrel (1992) o ferro fundido é empregado por apresentar uma boa relação entre custos e propriedades mecânicas, algumas delas próximas às do aços.

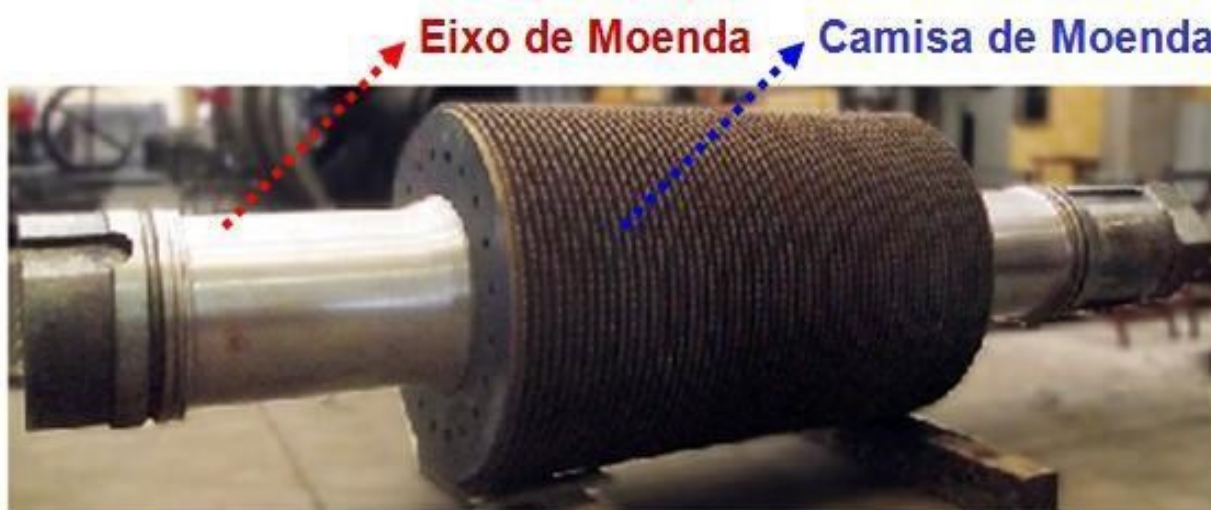


Figura 2.13 - Eixo e camisa de moenda

Castro e Andrade (2006) citam que a montagem de um rolo de moenda é formada pelo eixo e camisa. Um dos objetivos de se ter um eixo de aço e uma camisa de ferro fundido se dá por dois motivos, o primeiro diz respeito as propriedades mecânicas do aço alinhadas às propriedades de pega do ferro fundido, e, não tão menos importante, em relação ao custo, sendo que esta camisa, após sofrer o desgaste, pode ser substituída aproveitando-se o eixo.

A qualidade do material que compõe as camisas de moenda também apresenta importância relacionada à eficiência de produção, não só à resistência, pois nos estudos dos ajustes dos ternos, o material empregado na fabricação contribui para aumentar a eficiência da pega, sendo que a aplicação de ferro fundido atende a esta necessidade (CASTRO; ANDRADE, 2006).

Hugot (1986) comenta que os primeiros rolos de moenda eram fabricados lisos, porém a capacidade de produção destas moendas era muito inferior a das moendas de mesmas dimensões de rolos com ranhuras ou frisos, como são também chamados. Estes entalhes também ajudam a dividir o bagaço dentro da área de pressão, melhorando a eficiência de extração.

O tipo de friso mais usual é o circular. Consiste em gravar o rolo com entalhes, descrevendo círculos completos de planos perpendiculares ao seu eixo, distribuídos regularmente sobre sua periferia e resultando em secções axiais em forma de dente de serra,

(Fig. 2.14). A secção dos entalhes apresenta a forma de um triângulo isósceles cujo ângulo pode variar de trinta a sessenta graus na ponta (HUGOT, 1986).

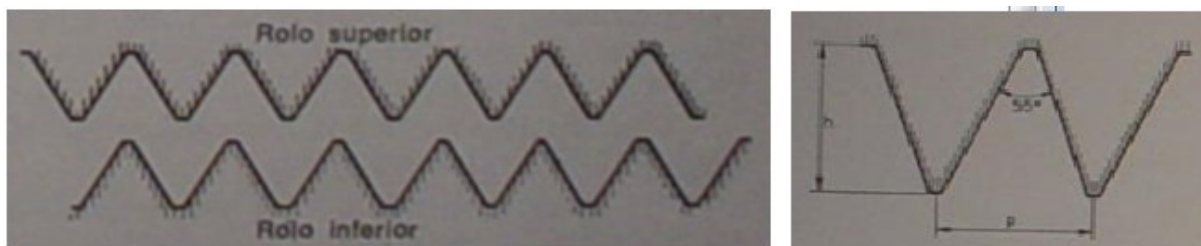


Figura 2.14 – Ranhuras ou frisos de moenda (Fonte: Hugot, 1986)

Para Hugot (1986) a dimensão da ranhura pode variar do primeiro ao último terno, sendo que há três razões para este fato ocorrer, a primeira se deve ao fato de a cana, após sucessivos esmagamentos, perde sua densidade. Outro fato é a necessidade de extrair o máximo de caldo no primeiro terno. Assim, uma maior divisão das ranhuras e uma maior dimensão levaria ao aumento de eficiência de extração. Por último, por propiciar uma regulação ao longo da safra para os últimos ternos, sendo que ranhuras de menor dimensão contribuirão para este objetivo.

Normalmente no Brasil emprega-se projetos com ternos de uma mesma medida de friso em todos os rolos, ou, em alguns casos, apenas do último terno com menor dimensão. E este fato é facilmente explicado devido a redução de custo (estoques) e uma maior flexibilidade para ajustar a moenda.

Durante a operação, estas ranhuras, ao entrarem em contato como o bagaço, retêm em seu interior quantidades compactadas do próprio bagaço, deixando o rolo de moenda com aspecto de liso, ou seja, as ranhuras perderiam o efeito. Para solucionar este problema empregam-se dois elementos como o pente e a bagaceira, onde esta tem o objetivo de retirar o bagaço que penetra nas ranhuras. Na Figura 2.15 podemos visualizar estes elementos:

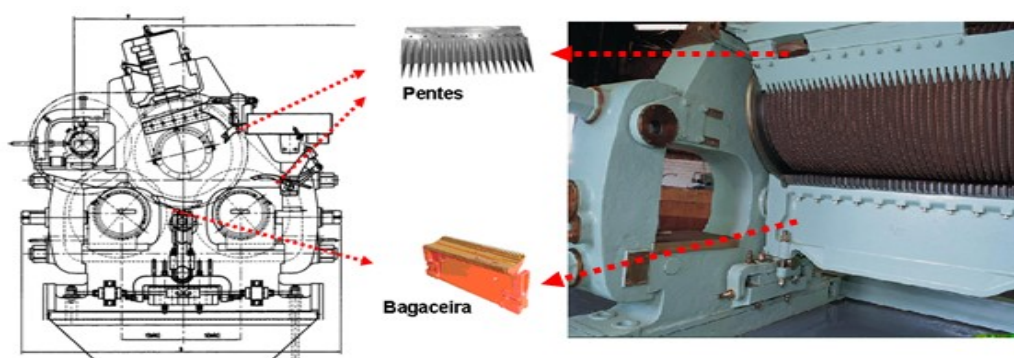


Figura 2.15 – Pentes e bagaceiras de um terno de moenda

Sabe-se que os rolos de moenda, as bagaceiras e os pentes trabalham sujeitos a grandes tensões e em meio a ambientes agressivos. Com o objetivo de aumentar a vida útil dos pentes e bagaceiras, emprega-se o processo de revestimento por solda dura, como pode ser visto na Fig. 2.16. Com este artifício espera-se que estes elementos concluam sua campanha de produção (período de safra) sem que sejam substituídos:

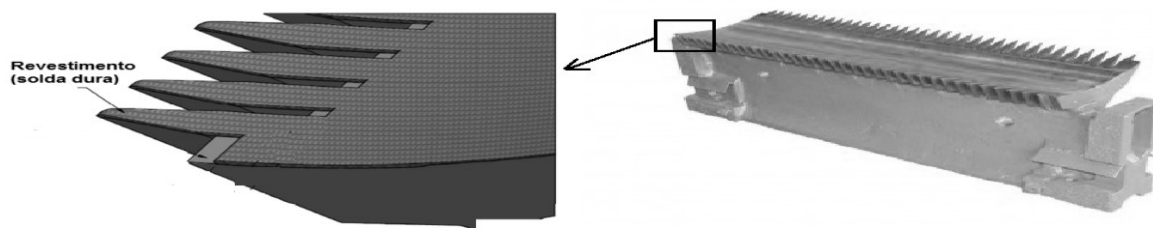


Figura 2.16 – Revestimento de metal duro em bagaceiras.

O revestimento também é aplicado nas camisas de moenda. Aplicado por soldagem, ele tem o objetivo de aumentar a resistência à abrasão e, portanto, reduzir o desgaste nas ranhuras dos rolos de moenda. Tal revestimento tem dois objetivos básicos. Em primeiro lugar a proteção da camisa da moenda quanto ao desgaste. Em segundo, como uma forma de aumentar a produção da moenda, aumenta sua “pega”, ou seja, aumenta o atrito entre a cana e o metal, proporcionando uma maior produção (HUGOT, 1986).

### 2.3 Desgaste em Moendas

As perdas econômicas de 1 a 2,5% do produto interno bruto dos Estados Unidos são decorrentes de desgastes de equipamentos em geral. Um valor semelhante também pode ser encontrado na Alemanha sendo que o fator corrosão gera uma perda de, aproximadamente, 4,5% (GARH, 1987 *apud* PASCOALI; ALARCON, 2006).

Da mesma forma, explica Gentil (2012), que as falhas ocasionadas pelos desgastes nas mais variadas atividades em vários setores, podem ser classificadas como perdas diretas, ou seja, aquelas que demandam custo de substituição ou manutenção, ou pelas perdas indiretas como paralisações acidentais da produção, perdas de produtos, perdas de eficiência e acidentes.

Com o objetivo de reduzir estes custos, obter um aumento da produtividade, obter um aumento da disponibilidade dos equipamentos e obter aumento da vida dos equipamentos, muitos pesquisadores desenvolvem pesquisas e experimentos relacionados ao desgaste. Estes estudos são desenvolvidos em duas fases distintas, a primeira na fase de projeto e instalação e o segundo na operação (MARCUS, 2006).

Segundo Gentil (2012), durante a fase de projeto é importante conhecer todas as condições do ambiente, dos agentes agressivos que envolvem a sua operação. Atentar para as características na fase de projeto reduzem efetivamente as severidades provocadas pelo desgaste do componente em serviço.

Pode-se definir o desgaste como uma perda progressiva de substância de uma superfície de um corpo em decorrência do movimento relativo com outra superfície (GARH, 1987 *apud* PASCOALI; ALARCON, 2006). Enfim, trata-se de algo indesejado que gera inconvenientes como aumento de custo, perda de eficiência além de provocar acidentes ou danos ao meio ambiente.

Nas indústrias, os desgastes representam a grande maioria das necessidades de manutenção. De modo geral, estes desgastes podem ser subdivididos em: abrasão, erosão, adesão, fricção e corrosão. Compreende-se, também, que a resistência à solicitação de desgaste não é propriedade intrínseca de um material, mas sim, característica do sistema ou do equipamento ao qual o componente está ligado mecanicamente e do seu meio operacional (LIMA, 2008).

Os quatros principais processos de desgaste segundo Pascoali e Alarcon (2006), podem ser classificados como (Fig. 2.17):

- Desgaste adesivo (formação e quebra das ligações interfaciais adesivas);
- Desgaste corrosivo (interação química entre os elementos);
- Fadiga de superfície (fadiga e formação de trincas devido a ciclos de tensões).
- Desgaste abrasivo (remoção do material devido ranhura)

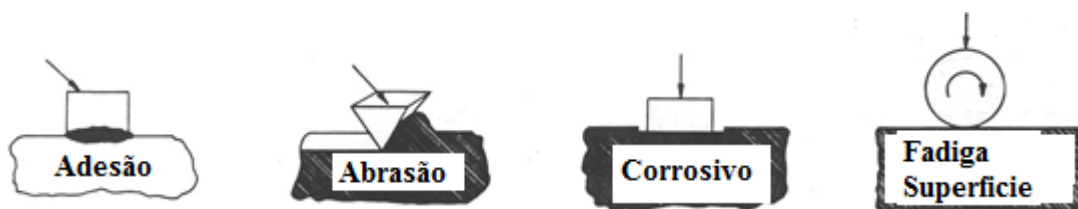


Figura 2.17 - Os quatro principais processos de desgaste (Pascoali e Alarcon, 2006)

Na operação da moenda, ou seja, no contato cana e moenda, ocorrem principalmente dois tipos de desgastes, o primeiro e mais importante é o desgaste por abrasão e o segundo por corrosão (HUGOT, 1986), porém este segundo não será abordado neste trabalho.



Nesta revisão será discutida apenas o desgaste abrasivo, por ser a justificativa da perda de material dos rolos de moenda mais significativos por este processo. Não está se afirmando que não ocorra a perda de material pelos outros processos, mas acredita-se que se ocorrerem não é tão significativo.

Este tipo de desgaste é o fator mais predominante para a deterioração da camada de revestimento dos rolos de moenda. Segundo Hutchings (1992 *apud* LIMA, 2009), a abrasão por partículas sólidas ocorre quando discretas partículas sólidas golpeiam uma superfície sob a ação de diversas forças de diferentes origens.

Desgaste abrasivo é a retirada de material causado pela presença de partículas duras. As partículas duras podem estar aprisionadas na interface entre as duas superfícies em movimento relativo, ou serem as protuberâncias que fazem parte da rugosidade de uma das superfícies. Uma partícula dura pode ser produto de um processo, como sílica, um fragmento desgastado ou advindo de eventuais partículas de fora do sistema tribológico, como sujeiras (PASCOALI; ALARCON, 2006).

O desgaste abrasivo está relacionado a alguns mecanismos, dentre eles os principais que são classificados como o microcorte, o microsulcamento e o microlascamento (PASCOALI; ALARCON, 2006) (Fig. 2.18):

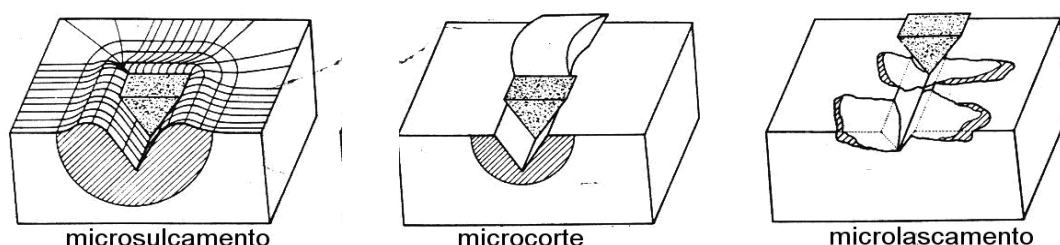


Figura 2.18 – Mecanismos de desgaste envolvidos em desgaste abrasivo (Fonte: Pacoali e Alarcon, 2006).

Conde (1986) identifica e define os tipos de abrasão, em:

a) Abrasão por baixa pressão, a qual é definida pelo desgaste gradual ocasionado por ação de pequenas partículas abrasivas, caracteriza-se por apresentar, em sua superfície, um raiado ou polido, em geral levando ao sulcamento da superfície. Na interface abrasivo-metal (abrasivo não engastado), em que as partículas de areia, cimento ou pós se deslocam em velocidades variadas, essas partículas não são fraturadas.

b) Abrasão por alta pressão, que se caracteriza quando o elemento abrasivo força a penetração na superfície dos metais. A atuação das forças de compressão, os elementos

abrasivos se fraturam juntamente com o metal, provocando riscamento, sulcamento e indentações sobre a superfície.

c) Abrasão por arranque, que é provocada pela ação do impacto.

Em um conjunto de moendas, as camisas sofrem com um grau mais significativo por abrasão, devido ao esmagamento da cana, e se intensificam com a presença de impurezas minerais, vegetais ou corpos estranhos contidos na cana (HUGOT, 1986). Neste tipo de abrasão, a constituição do metal será um fator fundamental para o modelo do material retirado, ou seja, se for dúctil, os fragmentos retirados serão tipo lascas e se for frágil, haverá um deslocamento de pequenos fragmentos. Assim, para o caso de camisas de moendas, nota-se que ocorrem retiradas de lascas após um período de safra, ou seja, aproximadamente 220 dias em operação (Fig. 2.19).

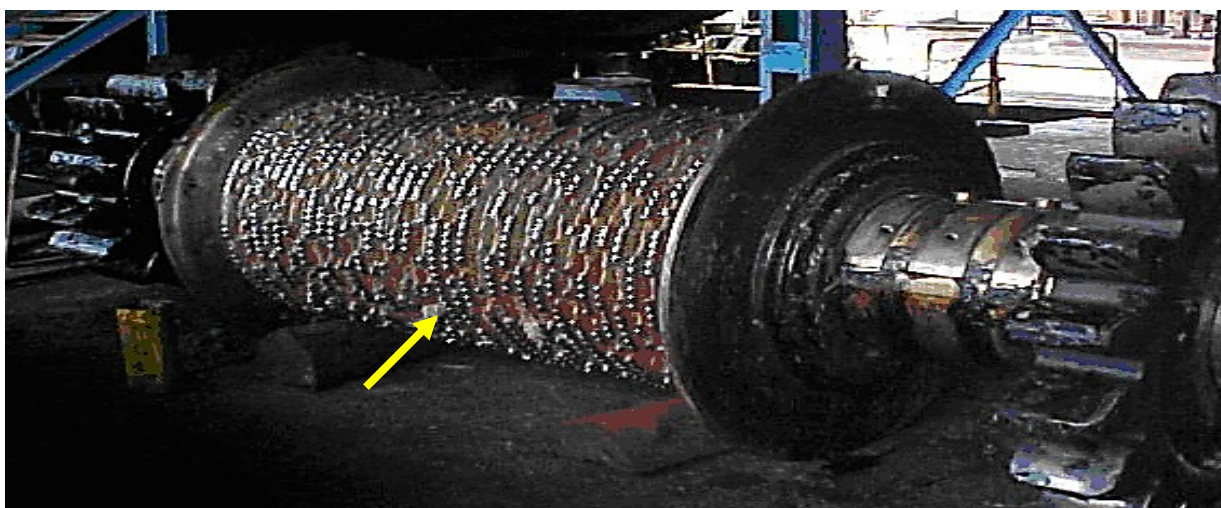


Figura 2.19 – Aspecto da moenda superior desgastada

Segundo Conde (1986), os fatores que aceleram o desgaste por abrasão em geral são:

- a) Tamanho da partícula;
- b) Formato da partícula;
- c) Dureza da partícula;
- d) Dureza do metal base;
- e) Tenacidade do metal base
- f) Composição e microestrutura do metal base
- g) Condições de operação, como a velocidade, a frequência, a carga, temperatura e umidade.

Segundo Hugot (1986), os desgastes dos rolos de moenda são ocasionados por cinco causas:

- a) Desgaste devido a acidez do caldo
- b) Fricção dos pentes e bagaceira
- c) Fricção da cana ou bagaço
- d) Impurezas contidas na cana, como por exemplo, metais, pedras e outros elementos.
- e) Necessidade de adequar o diâmetro da camisa para uma nova regulagem de moenda

Com base nas considerações de Conde (1986) e Hugot (1986), os desgastes relacionados às partículas são associados às impurezas que podem ser de origem vegetal e mineral. As principais impurezas vegetais provêm da própria planta da cana-de-açúcar e podem ser constituídos por folhas verdes, secas e parcialmente secas, cartuchos, palmitos e ainda ervas daninhas (EGGLESTON ET AL, 2001), além dos aspectos operacionais da colheita, como a não retirada da ponteira, no corte da cana inteira (corte manual), e a regulagem dos ventiladores de palha nos equipamentos de colheita mecanizada em canas inteira (corte mecanizado). Outras impurezas são frações minerais como terra ou até mesmo algum metal como partículas de implementos agrícolas que são levados juntamente com a matéria-prima para a indústria, sendo que a terra é uma das principais impurezas presentes na cana a ser moída e eleva os custos e de manutenção de equipamentos industriais, reduzem a eficiência de moagem ou ocasionam redução na capacidade efetiva da moenda e a extração de sacarose (GARSON, 1992; FIGUEIREDO ET AL, 2008). Além dos aspectos relacionados a matéria prima, ou ao processo de operação da colheita, os aspectos relacionados a moagem também contribuem com o desgaste das camisas de moendas, como, por exemplo, a velocidade de produção (alta rotação da moenda), ajustes das bagaceiras, deficiência do separador magnético, trabalho com índice de preparo de cana com valores abaixo de 90% (deficiência do preparo de cana) entres outros relacionados à operação dos equipamentos dentro da indústria.

Cálculos efetuados em algumas moendas chegaram a um desgaste de 6 a 12 milímetros sobre o diâmetro por 100 mil toneladas de cana moída (HUGOT, 1986). Sabe-se que o desgaste é mais acentuado no rolo de entrada, depois no superior e por fim no rolo de saída. O mesmo autor informa que o desgaste máximo tolerável para um rolo de moenda é de cerca de 4 a 5%.

## **2.4 Manutenção no Setor Sucroalcooleiro**

Terminada a safra, começa o período de entressafra, período em que todos os setores da usina, entre eles, os de recepção, preparo da cana e extração do caldo, após um prévio planejamento dos equipamentos que sofrerão manutenção, passam por um processo de desmontagem para receber a manutenção e os demais equipamentos receberem um processo de acondicionamento aguardando o próximo período de safra.

Para não fugir muito do tema, ou seja, revestimento em rolos de moenda, será tratado apenas as intervenções realizadas nos eixos de moenda, mais especificamente ao processo de revestimento das camisas.

De um modo geral, no setor de extração do caldo, que é despendida a maior parte do tempo de todo o trabalho de manutenção, assim como os custos também são os maiores. Além dos martelos do desfibrador e das facas do picador, as correntes dos transportadores, outras peças que causam grandes custos na manutenção, são as camisas da moenda, mancais, rodets, ou seja, os componentes da moenda, sendo este os maiores custos da manutenção além de uma maior responsabilidade para garantir a disponibilidade da usina como um todo. A quebra de uma destas peças, durante a safra pode paralisar por horas ou dias o trabalho na indústria. Além disso, como consequência de uma reação em cadeia, toda a produção da parte agrícola é afetada, o que faz também com que a moenda seja o setor mais problemático de uma usina.

Em específico no setor de extração do caldo, quando se trata dos ternos de moenda, estes equipamentos sofrem uma completa desmontagem. Todos os elementos da moenda são revisados. Os rolos de moenda, objeto de estudo desta dissertação, em geral, são retirados e enviados para as empresas que fazem a manutenção terceirizada. São raros os casos onde esta manutenção é feita dentro da usina, devido a necessidade de usinar a camisa dos rolos de moenda.

### **2.4.1 Manutenção em Rolos de Moenda Durante a Safra**

Durante a operação do equipamento, ou seja durante a safra (moenda em operação), é aplicado o chapisco nas laterais das ranhuras da moenda. Este procedimento é feito com a moenda operando. Este processo pode ser realizado com o auxílio um sistema automatizado ou semi-automatizado pelo processo arame tubular (Flux-Cored Arc Welding – FCAW) ou totalmente manual, com o processo FCAW ou Eletrodo Revestido, como pode ser visto na Fig. 2.20:



Figura 2.20 – Aplicação automatizada e manual do chapisco durante a sua operação

A aplicação de chapisco durante a operação da moenda leva a uma condição de baixa produtividade e baixa qualidade do chapisco, chegando a perdas relevantes quando comparado ao chapisco adicionado na manutenção da moenda (entressafra). Acredita-se que esta perda de material esteja relacionada à condição de operação, isto é, posição da tocha em relação à ranhura da moenda, parâmetros de chapisco (tensão, corrente e outros), tipo de material adicionado (metal de adição) e outros.

No processo automatizado ou semi-automatizado, pode-se usar bitolas de arame tubulares de 2,4 a 2,8 mm. O conjunto conta também com uma unidade de processamento que aciona um conjunto de motores que atuam no avanço e profundidade, e também possui um dispositivo para interface homem-máquina (EUTECTIC & CASTOLIN, 2014).

No processo manual, aplica-se o chapisco pelo processo eletrodo revestido. O metal de adição é um eletrodo, com diâmetro variando entre 3,2 a 6 mm, sendo mais usual utilizar o de maior diâmetro na faixa de corrente entre 200 e 240 A (SANTOS, 2001)

#### 2.4.2 Manutenção em Rolos de Moenda Durante a Entressafra

Após uma safra, os rolos de moenda sofreram desgaste e deverão ser usinados, isto é, quando não chegaram ao limite mínimo tolerável da espessura da camisa. Assim, um novo traçado de moenda deverá ser feito, ou seja, os diâmetros das camisas sofrerão redução e agora será necessária uma revisão do projeto da moenda, em que as medidas dos ajustes (traçado) serão reajustadas para que a moenda volte a sua condição normal de produção e extração.

Porém, antes da usinagem, é prudente conferir através de técnicas de manutenção preditivas, se existe não conformidades no eixo e também na camisa (HUGOT, 1986). Análise

por ultrassom, partículas magnéticas, líquidos penetrantes, entre outras, são praticadas com intenção de localizar descontinuidades.

Uma vez aprovados o eixo e a camisa, procede-se a usinagem para a retirada de toda a camada de revestimento depositada durante a entressafra anterior e também aquela depositada durante a safra (chapisco) com objetivo de restaurar a geometria da ranhura.

Após a usinagem, inicia-se a aplicação de revestimento por soldagem. O primeiro passo é aplicar o primeiro revestimento, aqui definido como revestimento lateral (Fig. 2.21). Nesta aplicação, em geral, utiliza-se o processo arame tubular na condição CC+. O metal de adição geralmente apresenta dureza de 55 a 60 HRc, e possui uma composição de 0,6% C, 0,6% Si, 0,8% Mn, 7% Cr e 1 % Mo. A aplicação mais usual é utilizar arames de 1,2 mm de diâmetro, com regulagens de tensão entre 25 e 34 V, corrente entre 150 e 300 A, gás de proteção com 75% Ar + 25% CO<sub>2</sub>, com 12 a 16 litros por minuto de vazão (UTP, 2014).

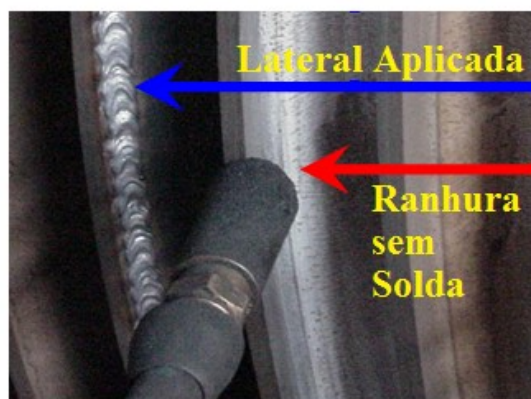


Figura 2.21 – Aplicação solda da lateral do friso

Em seguida realiza-se a aplicação da base e sobrebase, como pode ser vista na Fig. 2.22, com o objetivo de preparar o topo do friso, para receber o picote. Uma das principais funções de se aplicar a base e a sobrebase é minimizar as trincas normalmente ocorridas nos processos de aplicação de revestimento, este procedimento tem o papel de isolar o ferro fundido geralmente impregnado de impurezas proveniente da safra anterior em casos de camisas refrisadas (SANTOS, 2001). O processo é realizado na condição CC+, e o metal de adição para a base constitui-se de uma liga com alto teor de níquel para a base (0,045% C e 30% Ni e outros elementos não fornecidos pelo fabricante), e para a sobre-base com arame ligado ao cromo, com composição de 0,6% C, 0,6% Si, 0,8% Mn, 7% Cr e 15% Mo (UTP, 2014). Busca-se com isso proporcionar dureza de 36 HRc (SANTOS, 2001). A



aplicação mais usual é utilizar arames de 1,2 mm de diâmetro, com regulagens de tensão entre 17 e 22 V, corrente entre 120 e 200 A (EUTECTIC & CASTOLIN, 2014)

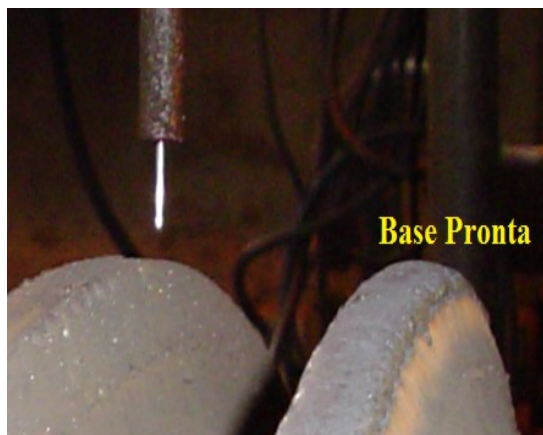


Figura 2.22 – Aplicação das Bases e Sobrebase (Fonte: Santos, 2001)

O próximo passo é a aplicação dos picotes (Fig. 2.23), onde se usa o mesmo processo na condição CC+, porém executada de forma intermitente, devendo obter um ponto com uma altura mínima (pode variar de 6 à 10 mm aplicados com 1, 2 ou três passes), e com alta dureza (57 a 62 HRc para resistir à abrasão (SANTOS, 2001). A aplicação mais usual é utilizar arames com alto teor de Cromo (4,4% C, 0,3% Ni, 0,3% Mn e 27% Cr), com propriedades de resistência a altas taxas de abrasão, combinado com impactos moderados e compressão. Usualmente utiliza-se 1,6 mm de diâmetro, com regulagens de tensão entre 22 e 35 V, corrente entre 150 e 350 A (UTP, 2014).



Figura 2.23 – Moenda com os picotes

Por fim realiza a aplicação do chapisco, a aplicação é feita pelo processo arame tubular (Flux-Cored Arc Welding – FCAW), na condição CC+. Atualmente existem vários fornecedores

deste metal de adição microtubular, com alto teor de cromo, desenvolvidos especialmente para aplicações de chapisco nas camisas de moenda da indústria sucroalcooleira (SANTOS, 2001). Nota-se porcentagens significativas de Carbono e Cromo. Observa-se também que alguns fabricantes utilizam-se de elementos como Nióbio e Boro para elevar a resistência ao desgaste. Eis uma listagem de alguns deles:

- a) UTP AF 718 S (4,5%C, 25%Cr, 0,1%Si e outros não informados pelo fabricante), (UTP, 2014);
- b) SugarTec TUB MAX (3,64%C, 16,81% Cr, 1,05% Si, 0,5% V, 0,82% Mn, 76,61 Fe, 0,6% B, 0,02% P e 0,01% S), (EUTECTIC & CASTOLIN, 2014);
- c) NCSW NanoSpray T (3%C, 26%Cr, 2%Si e outros não informados pelo fabricante), (NICROSOL, 2014).

Estudos comparativos da resistência ao desgaste abrasivo do revestimento aplicado por soldagem com arames tubulares autoprotégidos são constantemente publicados por estudiosos das áreas de processos de fabricação que concluem que elementos como Cromo, Nióbio e Boro elevam a resistência ao desgaste dos metais de adição aplicados como revestimento duro. Alguns destes estudiosos são:

- a) Marques e Leite (2009), que estudaram três ligas metálicas utilizadas na indústria, uma do tipo Fe-Cr-C, outra do tipo Fe-Cr-C com adição de nióbio e boro e a terceira, do tipo Fe-Cr-C com adição de nióbio;
- b) Garcia e Ferraresi (2011), que analisaram 2 ligas compostas por adição de Nb (FeCrC+Nb) e outra com adição de Ti (FeCrC+Ti), utilizadas na aplicação de revestimentos duros com o processo de arame tubular autoprotégido;
- c) Lima e Ferraresi (2009), que estudaram três ligas, sendo elas Fe-23,1Cr-4,11C, Fe-22Cr-4,5C-6,5Nb, Fe-1,8C-7,5Cr-1,5Mo-5,26Ti, também utilizadas pelo processo de arame tubular auto-protégido.

Estes metais de adição proporcionam uma dureza de 57 a 62 HRc, dependendo de cada fabricante, e proporcionam resistência mecânica conforme a Tabela 2.4, onde nota-se uma alta resistência a abrasão, sendo este, um dos objetivos este de se pretende alcançar quando se aplica o revestimento aos frisos da moenda. Pode-se notar que há uma tendência de se buscar resistência ao desgaste entre outras propriedades conforme a tabela:



Tabela 2.4 – Resistencia relativa ao desgaste

	Baixa	Média	Alta	Elevada
Abrasão				
Impacto				
Atrito				
Compressão				

(Fonte – Nicrosol, 2014)

Em geral, emprega-se arames de 2,4 ou 2,8 mm de diâmetro, com regulagens de tensão entre 24 e 35 V, corrente entre 350 e 400 A. A área de aplicação do chapisco tenta cobrir uma extensão de aproximadamente 40 mm, e, para isso, aplica-se em média de 10 a 12 passes de solda, como pode ser vista na Fig. 2.24:

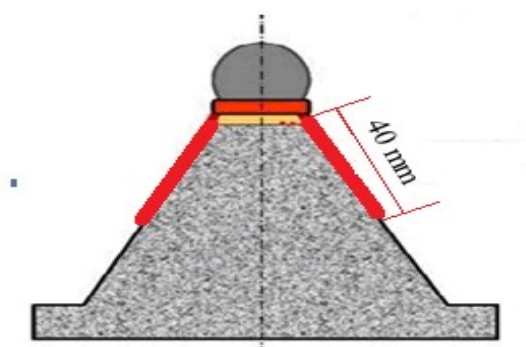


Figura 2.24 – Região onde ocorre a aplicação de chapisco

Um arame tubular para chapisco, deve possuir as características esperadas para este tipo de revestimento, como por exemplo quantidade de grão por áreas, diâmetro e altura do grão e outros aspectos para definir a qualidade esperada. Porém este padrão de qualidade não existe oficialmente no mercado. Assim no Capítulo III deste estudo será feita uma padronização com o objetivo de nortear este estudo. A figura 2.25, apresenta uma visão da aplicação e do aspecto visual final esperado para esta aplicação.

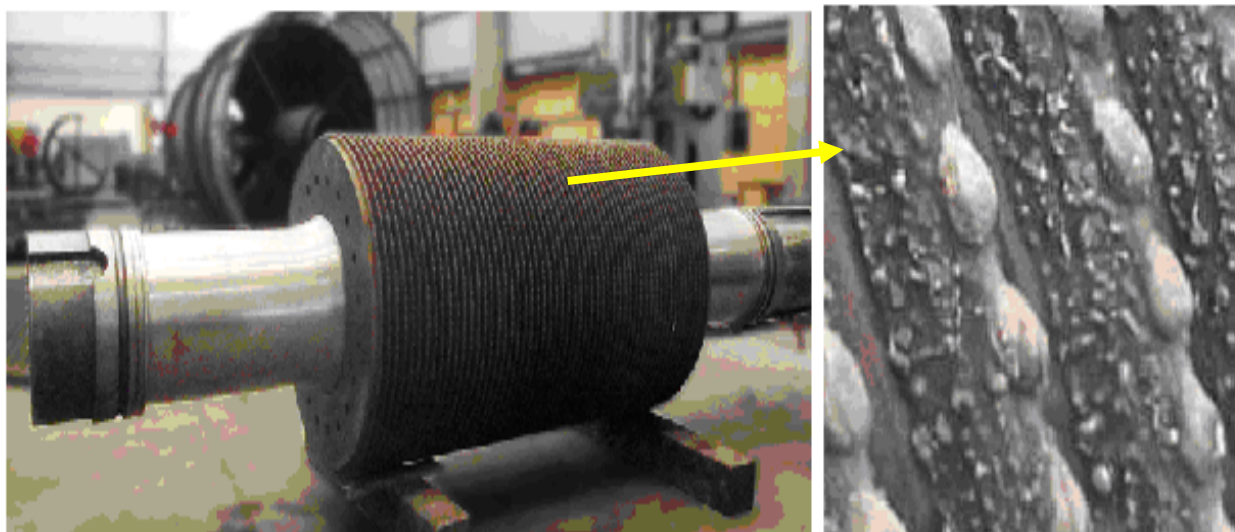


Figura 2.25 – Chapisco Concluído

Alguns aspectos importantes devem ser considerados na aplicação de chapisco. Um deles é a quantidade de passes a serem aplicados na região de 40 mm, mostrado na Fig. 2.23. Recomenda-se de 10 a 12 passes, ou seja:

- a) Quantidade menor de material: a distância de um passe ao outro nunca deverá passar de 5 mm, onde o ideal é de 3 a 4 mm, uma menor quantidade não promove os benefícios esperados, como a proteção da camisa e a “pega” da moenda, por outro lado;
- b) Quantidade maior de passes: provocam danos aos dentes de moenda, ou seja evitar valores inferiores a 3 mm ou sobrepor os passes. A fig. 2.26 apresenta a forma correta e a incorreta de aplicar o chapisco:

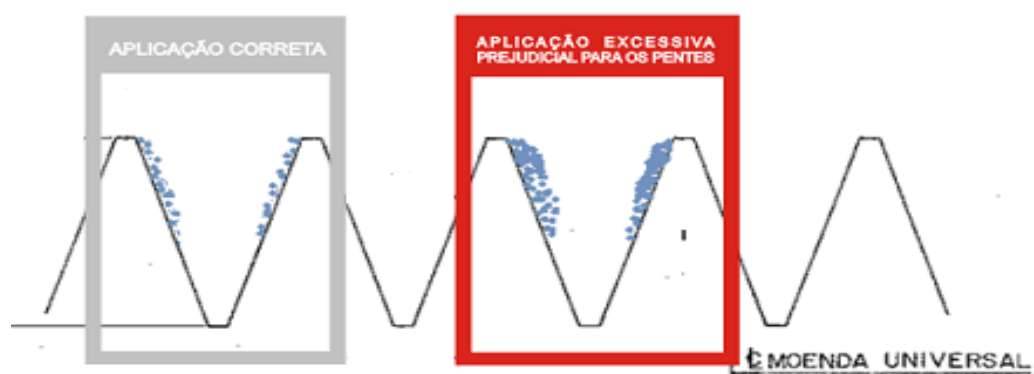


Figura 2.26 – Forma correta e incorreta de aplicar o chapisco

## 2.5 Microestrutura do Revestimento Duro

Com o objetivo de aumentar a resistência ao desgaste e aumentar a vida útil dos equipamentos principalmente em moendas, é usual a aplicação de revestimentos com ligas compostas de cromo. Segundo Thorpe e Chico (1985), são usualmente utilizadas nos materiais. Sujeitas ao desgaste por abrasão a baixas tensões estão as ligas à base de ferro de alto cromo e alto carbono, conhecidas também como ligas do sistema Fe-Cr-C. O mesmo autor afirma que a presença de carbono (C) tem o objetivo de que quando na presença de outros elementos de ligas tais como cromo, molibdênio, tungstênio, manganês, silício, vanádio, nióbio, nitrogênio e titânio, irá formar a microestrutura final resistente ao desgaste. O cromo (Cr) é um formador de carboneto, proporcionando uma boa resistência à abrasão, tenacidade e à corrosão, quando apresentam composição contendo de 12 a 28% de cromo (MARQUES; LEITE, 2009).

Muitos pesquisadores estudaram a microestrutura da estrutura do sistema Fe-Cr-C, como por exemplo a Fig. 2.27(a) que apresenta o trabalho Bálsamo, Scotti e De Mello (1995), em que observou-se uma matriz composta por carbonetos de cromo e dendritas de austenitas. Lima (2008), em seus estudos, também apresenta esta matriz (Fig. 2.27(b)):

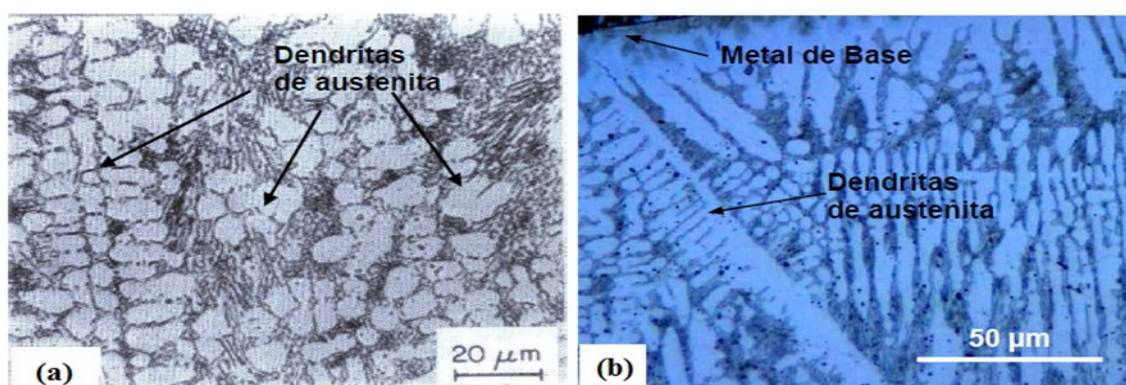


Figura 2.27 - Microestrutura do arame FeCrC

## **CAPÍTULO III**

### **Procedimentos Experimentais**

O presente estudo foi inicialmente concebido para ser estruturado em duas fases experimentais distintas. A primeira fase, denominada de experimentos em laboratório, foi realizada nas instalações da Universidade Federal de Uberlândia - UFU e está descrita no Capítulo IV. A segunda fase, descrita no Capítulo V e denominada de ensaios em campo, foi realizada na Empresa Simisa S.A., unidade de Sertãozinho-SP. Trata-se de uma empresa de bens de capitais, fabricante de equipamentos e acessórios para o setor de sucroalcooleiro.

Para a aplicação de chapisco em moenda não existe um padrão de dimensões ou rugosidade definido, assim, será estimado um padrão mais aceito pelos fabricantes e pelos seus clientes. Tal padrão terá como objetivo definir se a qualidade dos resultados foi satisfatória, uma vez que serão alterados os parâmetros de chapisco.

Com o objetivo de tornar claro os procedimentos utilizados para fins de melhor compreensão do presente trabalho e de modo que outros pesquisadores possam repetir integralmente os testes e os experimentos realizados, serão descritos neste capítulo os equipamentos, os materiais e consumíveis e a metodologia utilizada.

#### **3.1 Experimentos em Campo**

A empresa escolhida para as realizações dos experimentos em campo é, atualmente, referência no mercado sucroalcooleiro em venda de produtos fundidos e usinados. Possui uma capacidade de produção de 20.000 toneladas/ano em peças de aço carbono, baixa liga e ferro fundido cinzento e nodular, com peso máximo de até 24 toneladas para aço e 28

toneladas de ferro fundido. Atende clientes no Brasil e no exterior nos setores de mineração, automobilístico, siderurgia, usinas de açúcar e álcool, entre outros.

A Caldeiraria e a Indústria Mecânica, localizada na cidade de Sertãozinho- SP, permitiu o acesso à sua planta e, em específico, ao departamento de soldagem, onde ocorreram os ensaios iniciais que serão descritos neste texto, além de fornecer os insumos necessários para este experimento bem como o acompanhamento de técnicos e supervisores.

### 3.1.1 Equipamentos

Serão descritos os equipamentos de chapisco bem como a estrutura para a realização operacional de aplicação de chapisco utilizados durante a realização dos experimentos, conforme ilustração feita na Fig. 3.1 que mostra o dispositivo de soldagem empregado para a aplicação do chapisco nas camisas de moenda. Nesta, pode-se visualizar o sistema de alimentação de água, o equipamento de soldagem e o dispositivo mecânico que confere a rotação da camisa de moenda que receberá a aplicação de chapisco.

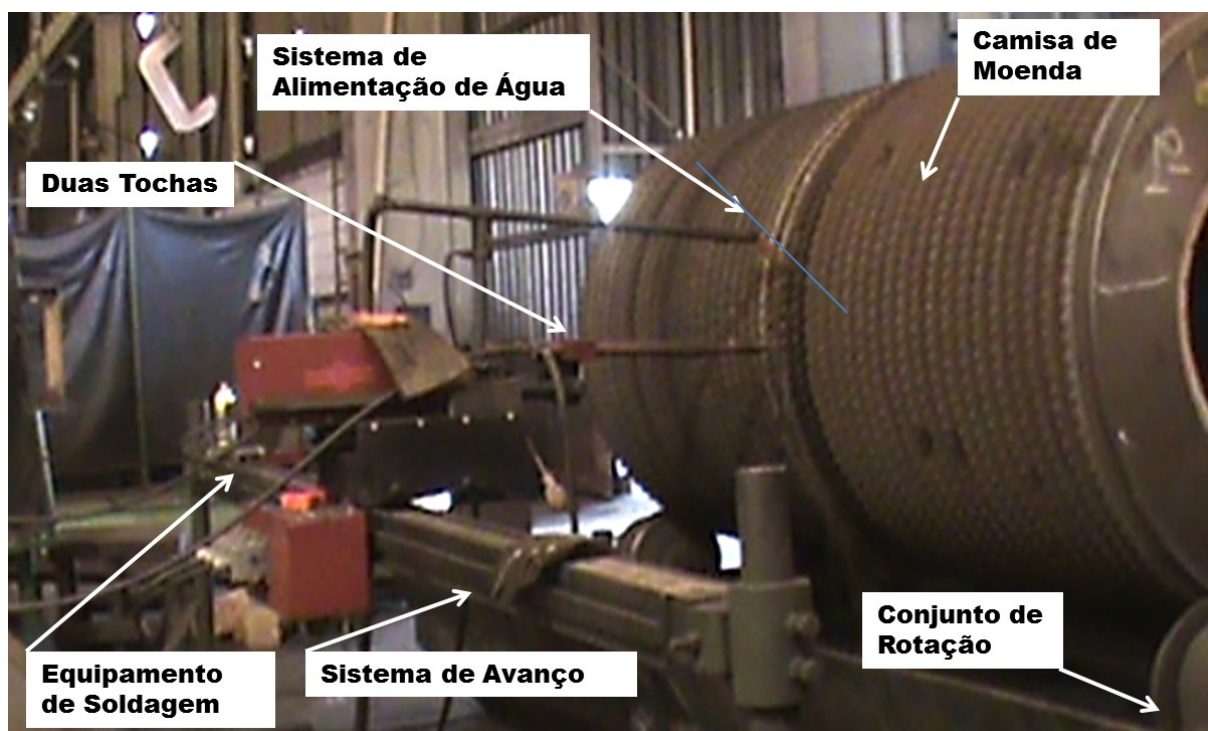


Figura 3.1 - Conjunto utilizado para realização da aplicação do chapisco.

A camisa de moenda é montada na posição horizontal em um dispositivo mecânico que lhe confere uma rotação que, por sua vez, pode ser variada por intermédio de um inversor



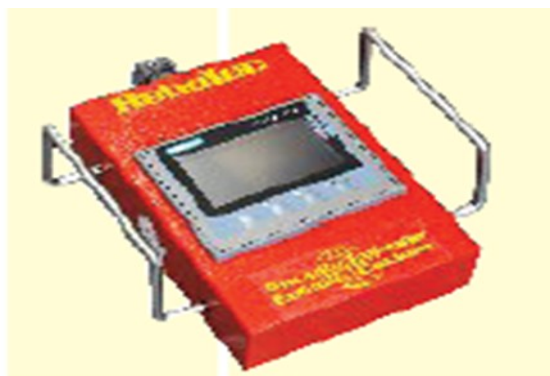
de frequência. Conforme os procedimentos operacionais adotados pela empresa, a velocidade perimetral pode ser variada entre 2 a 20 m/min, mas a velocidade mais comum é a de 10 m/min. A camisa deve ser apoiada sobre roletes ou mancal de forma que não haja deslizamento durante seu trabalho, garantindo um perfeito alinhamento ao dispositivo de chapisco.

Para a realização do chapisco nas laterais dos dentes da moenda é utilizado um dispositivo mecânico acoplado a um conjunto de equipamento de soldagem, constituído de:

- a) Fonte de soldagem com capacidade de 600 A à 100% de ciclo de trabalho.
- b) Cabeçote alimentador com roldanas com canal recartilhado para trabalhar com arames tubulares de até 2,8 milímetros de diâmetro.
- c) Unidade de Processamento – PLC (Fig.3.2(a)), que aciona e comanda os motores dos eixos de avanço e posicionamento. Tais movimentos são controlados por sensores de posição montados no equipamento. Uma unidade Interface Homem – Máquina (IHM), permite os ajustes necessários de variação de programação que pode ser realizada pelo operador do equipamento de soldagem (Fig.3.2(b)).



**(a)**



**(b)**

Figura 3.2 – Unidade de processamento (Fonte: Eutectic, 2014)

Para obter os movimentos de avanço e movimentos horizontais (Fig 3.3), o conjunto de chapisco possui um carro-alimentador (Fig. 3.4). Este conjunto possui um dispositivo que proporciona os movimentos de avanço e movimentos horizontais que é fixado em uma régua de alumínio, e neste é fixado duas tochas de 500 milímetros. Todos estes movimentos são controlados pela IHM (Fig.3.2) e são ajustados pelo operador do equipamento, assim, o processo de chapisco se dá de forma automatizada.

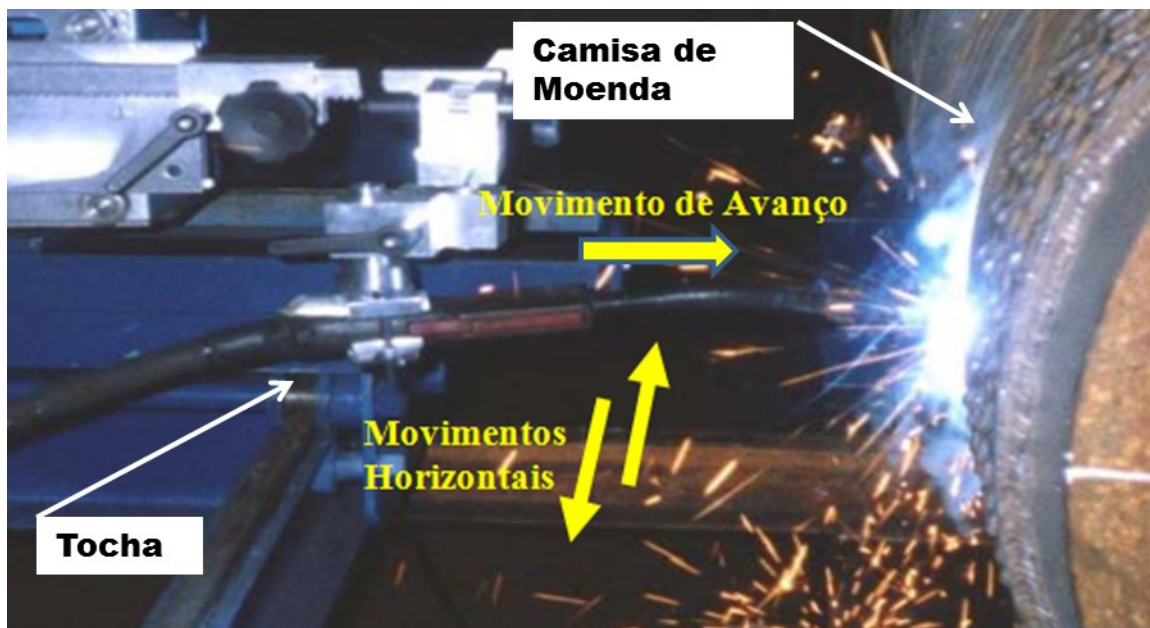


Figura 3.3 – Movimentos de avanço e horizontais



Figura 3.4 – Carro-alimentador, tochas e régua (Fonte: Eutectic, 2014)

### 3.1.2 Metal Base

O metal de base utilizado para a chapisco dos revestimentos foi ferro fundido nodular Tipo GGG-60, conforme norma DIN 1693, que apresenta as composições químicas e propriedades mecânicas conforme a Tab. 3.1, fornecidas pelo fabricante de camisas de moendas. A camisa possui diâmetros de 1442 mm e comprimento de 2200 mm.

Tabela 3.1 Especificação técnica da Liga Fundida

Composição Química							Propriedades Físicas			
Tipo	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	LR Kgf /cm <sup>2</sup>	LE Kgf /cm <sup>2</sup>	ALG %	Dureza HB
GG 60	3,5 a 3,9	2,5 a 2,8	0,2 Max	0,06 max	0,02 Max	0,5 a 0,6	60,0 Min	98,0 Min	3,0 min	230 a 260

Obs: GG 60 (Norma DIN 1691)

### 3.1.3 Metal de Adição

O metal de adição foi um arame tubular auto-protégido, com dureza de 57 a 62 HRc, diâmetro de 2,8 mm. A Tabela 3.2 apresenta a composição química do metal de adição fornecida pelo fabricante. É um produto especialmente projetado para aplicação de “chapiscos” em camisas de moenda.

Tabela 3.2 Composição química do metal de adição para o chapisco.

C	Cr	Si	V	Mn	Fe	S	P
3,64%	16,81%	1,05%	0,50%	0,82%	76,61%	0,01%	0,02%

Fonte: Eutectic do Brasil, 2014

### 3.1.4 Procedimento para Coleta de Materiais Respingados

O processo mais usual para obtenção do rendimento de deposição, relação entre o metal fundido e o que foi efetivamente depositado, é realizado pela pesagem do metal base antes e após a aplicação do revestimento. Devido a dificuldade de pesar a moenda (peso estimado de 50 toneladas) o rendimento de deposição foi obtido pela relação entre o peso do arame aplicado e o material respingado. O valor obtido não representa a realidade em termos de rendimento de deposição (fusão do fluxo do arame tubular), mas é possível obter um valor



que possa ser comparado com outros que utilizam a mesma técnica. Para obter o peso do material respingado, foram utilizados os seguintes procedimentos:

- a) Foi utilizado um recipiente metálico de aproximadamente 60 litros de volume, dotado de um orifício para a drenagem da água (Fig. 3.5);

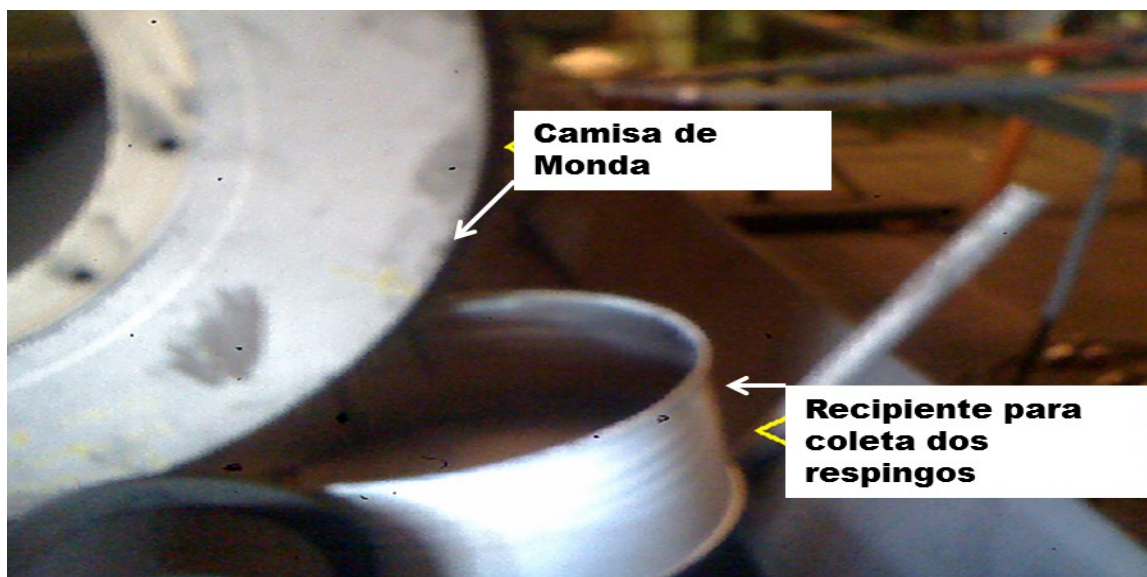


Figura 3.5 – Recipiente para coleta do material respingado.

- b) O recipiente de coleta foi inserido abaixo das tochas e do metal base (camisa da moenda), por um período de tempo de um minuto (tempo de ensaio em campo). Este processo foi realizado três vezes para cada amostra;
- c) Utilizando uma peneira metálica, fez-se a primeira separação do material sólido e do líquido;
- d) O material foi secado em uma estufa e posteriormente pesado em uma balança analítica com capacidade de 4200 g e leitura de 0,01 g;

Para se obter o peso do material aplicado (metal de adição) foi utilizado o seguinte procedimento:

- a) Foi coletada (por um minuto) a quantidade de arame que a fonte fornece durante a aplicação do chapisco;
- b) Posteriormente pesado em uma balança analítica com capacidade de 4200 g e leitura de 0,01 g;
- c) Como o processo utiliza de duas tochas para aplicação do chapisco nas mesmas condições de aplicação, o valor obtido foi dividido por 2, para obter os valores respingado;
- d) Este procedimento foi repetido para as 3 coletas.

### 3.1.5 Procedimento para Aquisição de Dados de Parâmetros de Aplicação de Chapisco

Com o objetivo de obter os valores de corrente e tensão dos ensaios realizados durante a fase de experimento em campo, foi instalado um equipamento com capacidade de registro de 10 mil pontos por segundo, para posterior análise.

### 3.1.6 Definição dos Parâmetros de Chapisco.

A partir das condições utilizadas atualmente pela empresa de aplicação de chapisco apresentada na Tabela 3.3, variou-se os parâmetros de aplicação de chapisco com o objetivo de entender e encontrar novos parâmetros com melhor condição de aplicação de chapisco, isto é, melhor rendimento de deposição. Os parâmetros alterados foram a corrente de desejada (doravante  $I_d$ ), velocidade de aplicação do chapisco (doravante  $V_c$ ), aplicação do chapisco com e sem água, sentido de rotação da moenda e ângulo da tocha em relação ao friso da moenda (doravante  $A_c$ ). As velocidades de alimentação do arame eletrodo foram de 3,2 m/min ( $I_d = 300$  A), 2,26 m/min ( $I_d = 250$  A) e 4,01 m/min ( $I_d = 380$  A). Os ensaios estão listados na Tabela 3.4 e serão realizados em quantidade de 3 ensaios para cada condição.

Tabela 3.3: Parâmetros de chapisco da empresa parceira desta pesquisa

<b>Ud</b> (V)	<b>Id</b> (A)	<b>Vc</b> (m/min)	<b>Aplicação</b> seco / água	<b>DPCP</b> Mm	<b>Ac</b> Graus	<b>Sentido</b> H ou AH
31	300	10	Água	24	35°	Horário

Onde:  $I_d$  = Corrente Desejada,  $V_c$  = Velocidade de Chapisco,  $A_c$  = Ângulo de Chapisco e sentido horário (H) ou anti-horário (AH)

Para alterar a condição de aplicação de chapisco a seco ou com água foi acionada ou desligada a bomba que faz parte do dispositivo. A vazão que a empresa utiliza é de 80 l/min. A Figura 3.6 apresenta o dispositivo para aplicação de água, onde se verifica que a água é injetada em uma posição acima da tocha de aplicação de chapisco, a uma distância aproximada de 20 cm.

Tabela 3.4: Parâmetros utilizados nos ensaios em campo

<b>Ud</b> (V)	<b>Id</b> (A)	<b>Vc</b> (m/min)	<b>Aplicação</b> <i>seco / água</i>	<b>DPCP</b> <i>mm</i>	<b>Ac</b> <i>Graus</i>	<b>Sentido</b> <i>H ou AH</i>
31	300	6	Água	24	35°	Horário
31	300	10	Água	24	35°	Horário
31	300	13,6	Água	24	35°	Horário
31	300	6	Seco	24	35°	Horário
31	300	10	Seco	24	35°	Horário
31	300	13,6	Seco	24	35°	Horário
31	240	10	Água	24	35°	Horário
31	380	10	Água	24	35°	Horário
31	240	6	Água	24	35°	Horário
31	380	6	Água	24	35°	Horário
31	240	13,6	Água	24	35°	Horário
31	380	13,6	Água	24	35°	Horário
31	300	6	Água	24	15°	Horário
31	300	10	Água	24	15°	Horário
31	300	13,6	Água	24	15°	Horário
31	300	6	Água	24	55°	Horário
31	300	10	Água	24	55°	Horário
31	300	13,6	Água	24	55°	Horário
31	300	6	Água	24	35°	Antihorário
31	300	10	Água	24	35°	Antihorário
31	300	13,6	Água	24	35°	Antihorário

Ud = Tensão desejada, ID = Corrente desejada, Vc = Velocidade de chapisco, Ac = ângulo de chapisco e sentido = horário (H) ou anti-horário (AH).

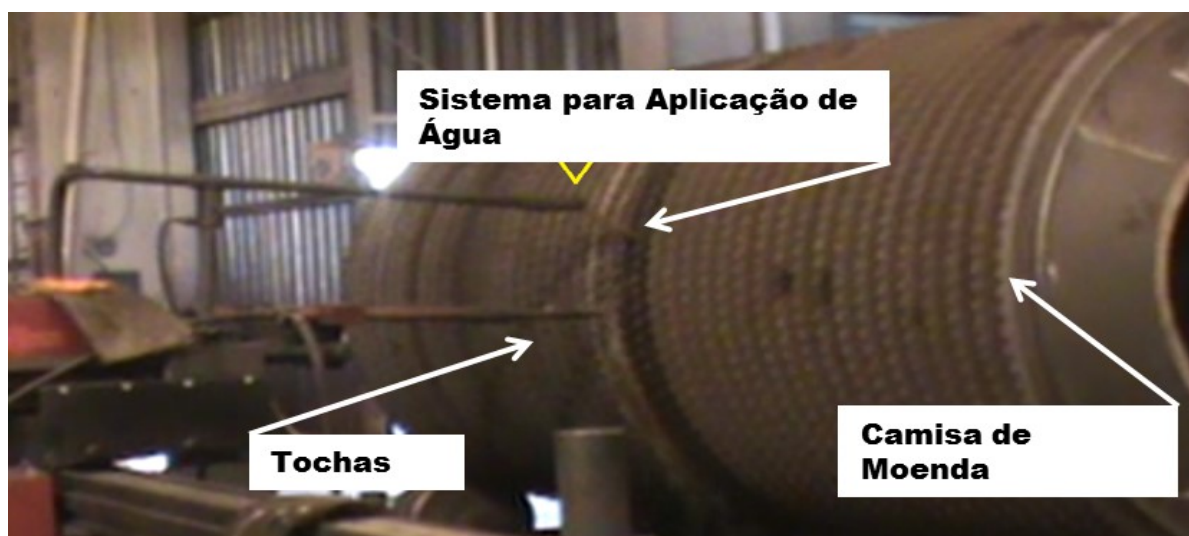


Figura 3.6 – Dispositivo para aplicação de água

A Figura 3.7 mostra o sentido de aplicação do chapisco, ou seja, o sentido horário (ascendente) é o utilizado pelo fabricante do equipamento e no sentido anti-horário (descendente) que foi a proposta deste trabalho.

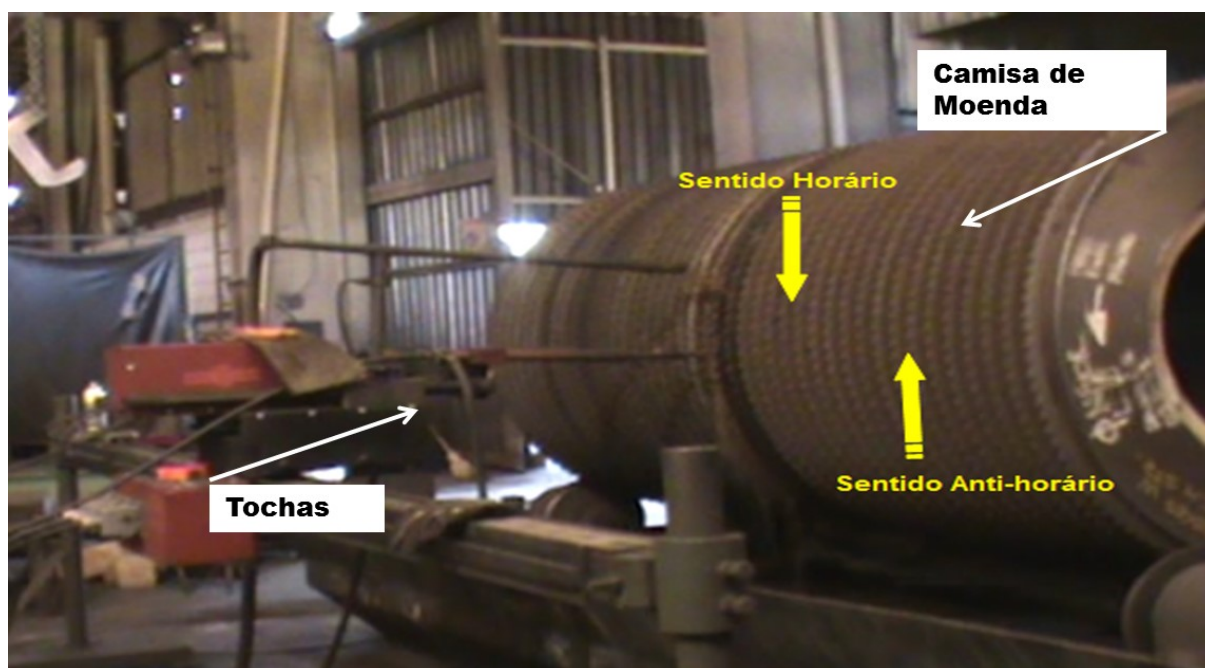


Figura 3.7 – Sentidos de giro da camisa de moenda

A variação do ângulo de aplicação de chapisco (ângulo entre a tocha e a face do friso) foi de 15°, 35°, e 45°. A empresa utiliza atualmente 35°. Foram escolhidos estes valores em função do espaço físico permitido, uma vez que o espaço físico entre os frisos da camisa é bastante restrito.

## 3.2 Experimentos no Laboratório

Neste tópico serão descritos os equipamentos utilizados para a aplicação de chapisco no laboratório de soldagem da UFU (Laprosolda), os quais são: a bancada de aplicação de chapisco e o dispositivo para prover a rotação e fixação da tocha.

### 3.2.1 Equipamentos

Foi utilizada uma fonte de soldagem eletrônica, Inversal 450, IMC com recursos para operar com os processos a arco elétrico com eletrodos revestidos, MIG/MAG (convencional



ou pulsado), arame tubular e TIG, a qual possui as seguintes características: corrente nominal de 580 A a 100% FC, corrente máxima de 450 A, tensão de 68 V. O sistema tracionador de arame utilizado foi o STA-20, com velocidade regulada de 0,1 a 20 m/min, equipado com conjuntos de roletes para arames tubulares de 2,8 mm de diâmetro.

Para os ensaios no laboratório foi fabricado um dispositivo de aplicação de chapisco, como pode ser visto na Fig. 3.8. O conjunto é composto de um motorreductor e um sistema de fixação. Para ajustes da rotação foi instalado um inversor modelo CFW-10 WEG.

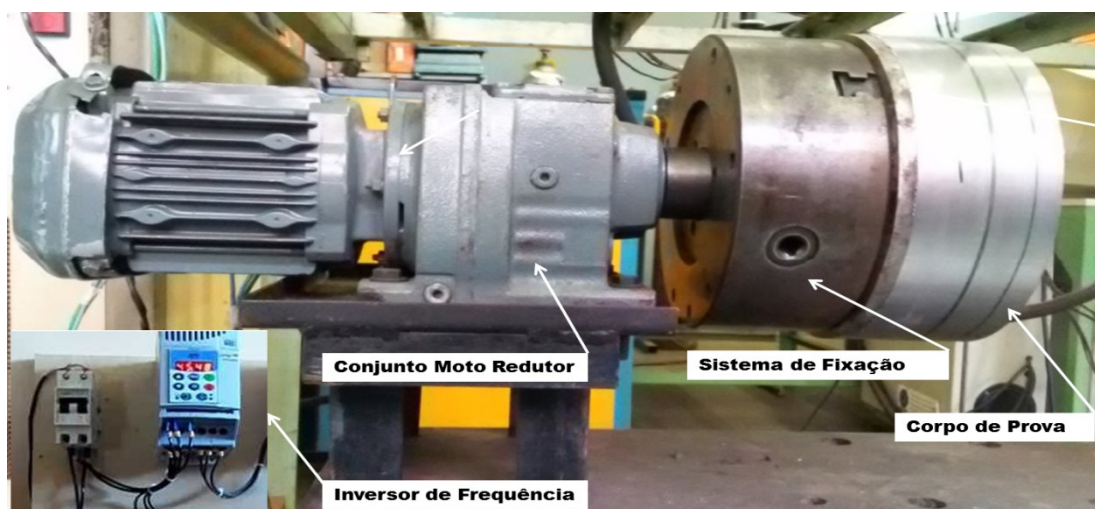


Figura 3.8 – Dispositivo para aplicação de chapisco em laboratório

Com a finalidade de reproduzir em laboratório a mesma operação realizada pelos fabricantes de moenda, foi utilizada a mesa de soldagem (XY-1) do Laprosolda (Fig. 3.9). Este equipamento contribuiu para obter o avanço da tocha de aplicação do chapisco.



Figura 3.9 – Equipamentos utilizados para aplicação de chapisco em laboratório

### 3.2.2 Materiais e Consumíveis

O metal de adição utilizado nos ensaios no laboratório foi o mesmo da empresa, apresentado no item 3.2.3. O metal de base utilizado foi um tubo de aço ao carbono ASTM A-36 grau A, com diâmetro de 203,20 mm, espessura de 6,3 mm e 90 mm de comprimento.

### 3.2.3 Procedimento para Coleta de Materiais Respingados

Para obter o peso do material respingado, foram utilizados os seguintes procedimentos:

- a) Foi utilizado um recipiente metálico de aproximadamente 6 litros de volume, dotado de um orifício para a drenagem da água, com o objetivo de reter o material respingado, procedimento semelhante ao realizado no experimento em campo.
- b) O recipiente de coleta foi inserido abaixo da tocha e do metal base (tubo que simula a camisa da moenda) a fim de coletar o material respingado, por um período de tempo de dez segundos. Este processo foi realizado três vezes para cada amostra.
- c) Utilizando uma peneira metálica, fez-se a primeira separação do material sólido e do líquido;
- d) O material foi secado em uma estufa e posteriormente pesado em uma balança analítica com capacidade de 4200 g e resolução de 0,01 g.

Para se obter o peso do material aplicado (material de adição) foi utilizado o seguinte procedimento:

- a) Foi coletada por dez segundos a quantidade de arame;
- b) Posteriormente pesado em uma balança analítica com capacidade de 4200 g e resolução de 0,01 g;
- c) Este procedimento foi repetido para 3 coletas.

## 3.3 Análise Estatística

A análise estatística dos resultados foi feita utilizando conceitos de análise de variância, teste de hipótese, para uma análise de igualdade de médias para um nível de significância de 5%. Nesse caso, quando a significância estatística ( $p$ ) é maior que 0,05 as variáveis são consideradas estatisticamente iguais e quando é menor, são consideradas estatisticamente diferentes.

### 3.4 Análise Metalográfica

Com o objetivo de obter informações sobre a microestrutura do material aplicado no chapisco, foram aplicados cinco passes (três camadas), sobre uma chapa de aço carbono do arame tubular utilizado na aplicação de chapisco, com as seguintes dimensões 200 x 50 x 12,7 mm, nos quais foram extraídos os corpos de prova para análise, conforme é apresentado na Fig 3.10.

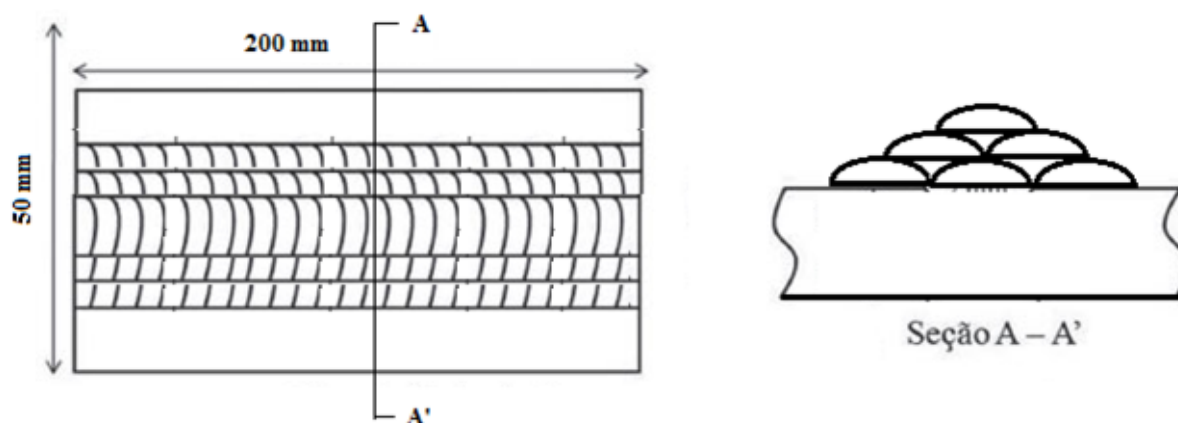


Figura 3.10 - Esquema da aplicação do revestimento para as análises de dureza, microdureza e microestrutura

A dureza e microdureza foram realizadas no cordão superior, minimizando, portanto, o efeito da diluição. Os equipamentos utilizados foram:

- a) O equipamento DIA testor 2RCS - Wolpert, com carga de 150 kg e pré carga de 3 e 10 Kgf, com penetrador de dureza 60-66HRC para obtenção da dureza (Fig 3.11)



Figura 3.11 – Equipamento para medição de dureza

b) Para a obtenção da microdureza do material, foi utilizado um Microdurômetro HMV SHIMADZU, com carga máxima de 19,61 N e com capacidade de ajuste de carga de 10, 25, 50, 100, 200, 300, 500 e 1000 gramas (Fig. 3.12).

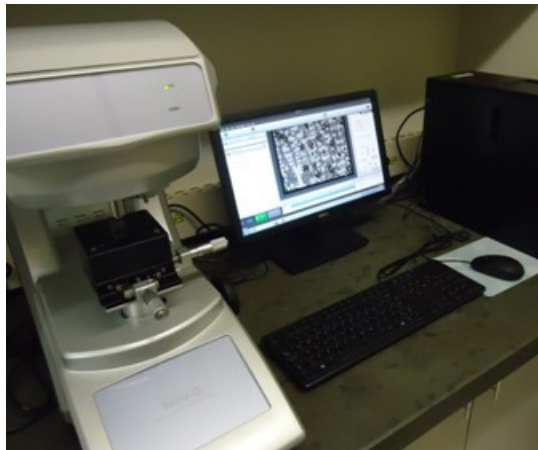


Figura 3.12 – Equipamento para medição de microdureza

O corpo de prova, após ter sido cortado, foi lixado com uma sequência de lixas de 400, 600 e 1200 e polidas utilizando óxido de alumínio  $0,05\ \mu\text{m}$  e atacadas com Água Régia (100ml HCl + 3ml  $\text{HNO}_3$ ) por 10 segundo. Para a análise da microestrutura foi utilizado um microscópio óptico marca NIKON, modelo ECLIPSE LV100 com aumento máximo de 1500 vezes foi utilizado para obtenção das imagens, mostrado na Fig. 3.13.



Figura 3.13 - Microscópio utilizado para observar a microestrutura dos corpos de prova



### 3.5 Definição do Padrão Dimensional do Revestimento (Chapisco)

Como foi apresentado no Capítulo II deste estudo, não existe uma norma estabelecida para nortear a qualidade da aplicação de chapisco. Desta forma, foi necessário criar um padrão para servir de referência para esta pesquisa. Inicialmente entrou-se em contato com o fabricante das camisas de moendas para a obtenção de amostras de chapisco, considerada pela empresa como adequada para esta aplicação.

As amostras (três regiões da camisa) foram obtidas em uma aplicação considerada adequada pelo fabricante, utilizando massa de modelar para imprimir um molde, na qual posteriormente foi adicionado gesso com o objetivo de revelar os grãos do chapisco, assim foi possível obter uma ideia da altura do grão e da quantidade e dimensões contidas em uma área pré determinada ( $2,2 \times 2,2 \text{ cm} = 4,84 \text{ cm}^2$ ). Com auxílio de uma foto digital realizada com auxílio de uma escala métrica, foi possível obter as quantidades de grãos na mesma área ( $4,84 \text{ cm}^2$ ). Comparando os resultados obtidos com o método da massa, que apresentaram resultados muito semelhantes, foi possível analisar tanto a quantidade de grãos e suas dimensões. Estes resultados são apresentados nas Figuras 3.14 a 3.16.

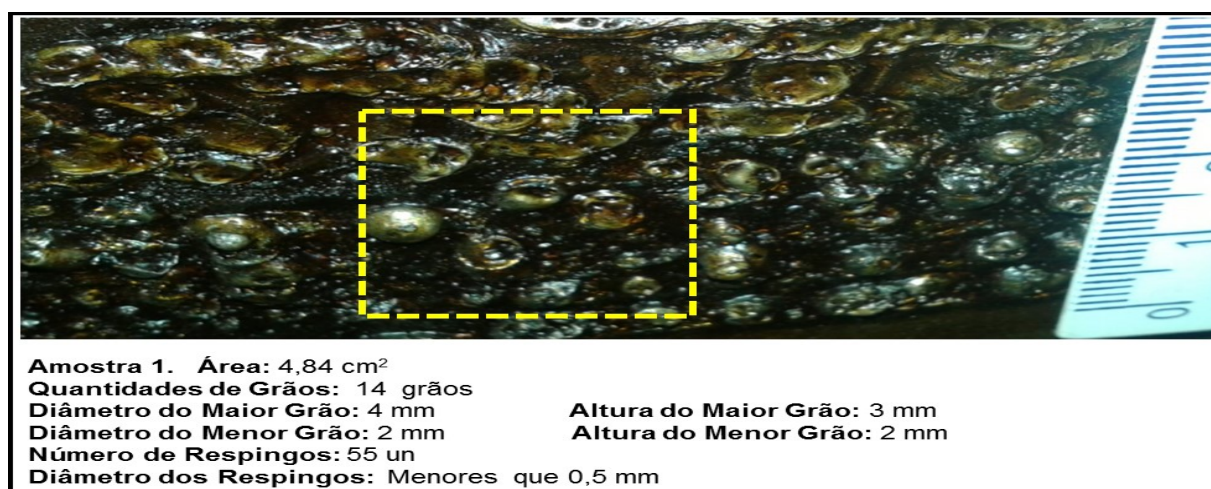


Figura 3.14 – Padrão obtido com os parâmetros praticados pelo fabricante (amostra 1)

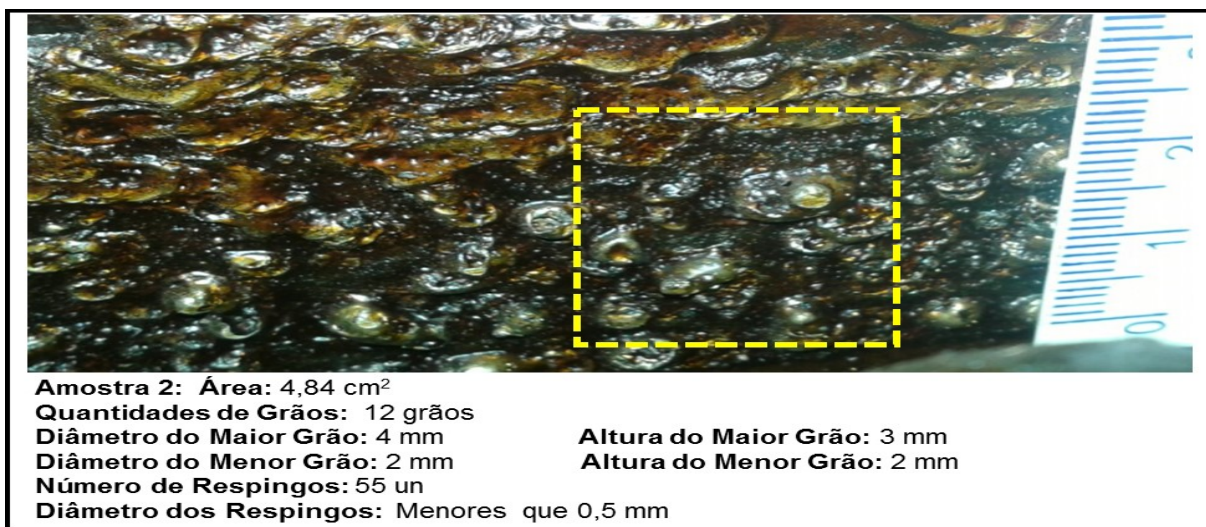


Figura 3.15 – Padrão obtido com os parâmetros praticados pelo fabricante (amostra 2)

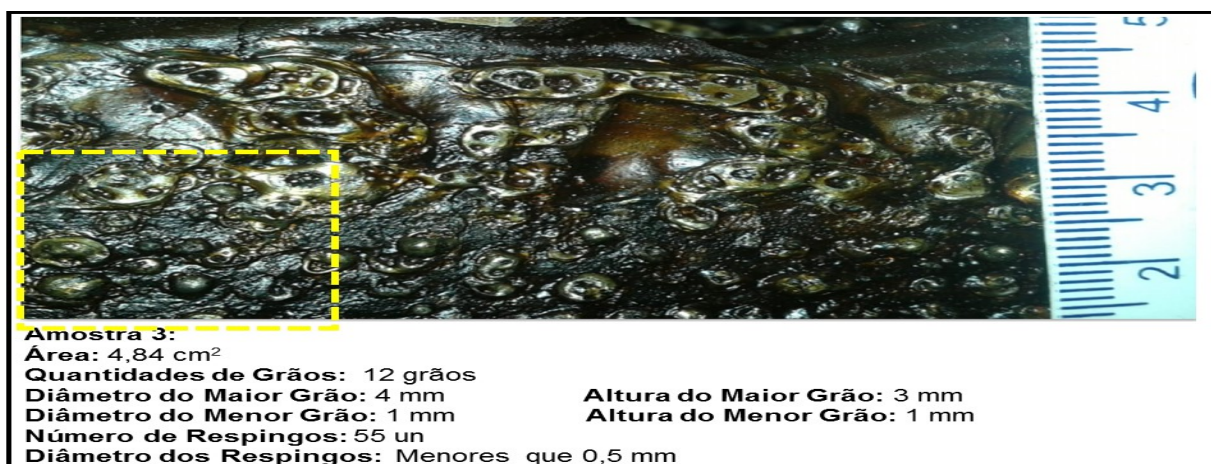


Figura 3.16 – Padrão obtido com os parâmetros praticados pelo fabricante (amostra 3)

Assim, foi possível obter um padrão de análise da qualidade da superfície do chapisco (padrão de aceitação), conforme apresentado na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 – Padrão do chapisco

<b>Área:</b> 2,84 cm <sup>2</sup>
<b>Quantidades de Grãos:</b> 12 a 14 unidades (grãos)
<b>Diâmetro do Grão:</b> 1 a 4 mm
<b>Altura do Grão:</b> 1 a 2 mm
<b>Número de Respingos:</b> Maior que 30 unidades
<b>Diâmetro dos Respingos:</b> Maior que 0,01 mm
Obs: A quantidade de respingos não se apresenta como um fator importante para a classificação da qualidade.

## **CAPÍTULO IV**

### **Experimentos em Laboratório**

Neste capítulo são apresentados e discutidos os ensaios dos resultados realizados no laboratório Universidade Federal de Uberlândia, conforme metodologia apresentada no Capítulo III.

Em uma primeira etapa, apresentada nos itens 4.2, 4.3 e 4.4, buscou-se obter o entendimento do processo de aplicação de chapiscos nos frisos das camisas de moenda, com e sem adição de água por meio de uma metodologia para obtenção do rendimento de deposição, pela coleta dos respingos, procedimento este utilizado para obtenção do rendimento realizado nos ensaios em campo (Capítulo V).

Em uma segunda etapa, apresentada no item 4.5, em posse dos parâmetros de chapisco que obtiveram melhor resultado, foi aplicado um procedimento de obtenção da eficiência de deposição utilizado o método de pesagem, conforme descrito no Capítulo procedimentos experimentais.

É evidente que estas técnicas de obtenção do rendimento de deposição dariam valores diferentes dos métodos de pesagem do corpo de prova comparado com a pesagem do material respingado. O objetivo aqui é analisar a tendência e apresentar que realmente existe esta diferença.

Também é apresentada neste Capítulo a análise metalográfica do revestimento duro utilizado no chapisco.

#### **4.1 Ensaios com Variação na Velocidade e Tensão de Aplicação do Chapisco com Água Utilizando a Técnica de Coleta de Respingos**

Os primeiros ensaios realizados em laboratório são apresentados na Tab. 4.1. Variaram-se a tensão de soldagem em três níveis (28, 31 e 35 V) e a velocidade de chapisco também em três níveis (6, 10 e 13,6 m/min).

Nestes ensaios não foram realizadas as aquisições de dados, pois são ensaios iniciais com a finalidade de conhecer o processo de aplicação de chapisco no laboratório de soldagem.

Conforme o procedimento descrito no item 3.3 do Capítulo III desta pesquisa, obteve-se os valores referentes aos pesos do material depositado, apresentado na Tab. 4.1 como massa de arame eletrodo fundida durante a aplicação do chapisco (doravante *Al*), obtido através da relação entre a velocidade de alimentação do arame eletrodo e o seu peso durante o ensaio e do nível de respingo (doravante *Resp*), sendo este termo referente ao material que não aderiu ao corpo de prova durante a realização do ensaio. Com estas informações, foi possível calcular o rendimento de deposição (doravante *Rd*).

As condições de aplicações de chapisco mantidas constantes foram: DBCP (Distância do Bico de Contato a Peça) de 24 mm; sentido horário de aplicação do chapisco no tubo (corpo de prova); Ângulo da tocha = 35° e Velocidade de alimentação do arame eletrodo = 3,2 m/min; Tempo de realização do ensaio de 10 segundos; Massa do arame fundido durante o ensaio = 19,24g. Foram realizados três ensaios de cada condição, conforme mostrado na Tab. 4.1.

Cabe ressaltar que não foi possível a realização de ensaio para condição de soldagem com 28 V, 13,6 m/min com aplicação e água devido a dificuldade de se manter o arco aberto, ou seja água resfriava muito a gota e a possa, não permitindo que todo material aderisse ao metal base, notou-se aqui uma falta evidente de energia de soldagem.

Tabela 4.1 – Condições de aplicação do chapisco com água com variação na Vc e Ud

<b>Amostra</b>	<b>Ud</b> (V)	<b>Vc</b> (m/min)	<b>Cc</b> (seco/água)	<b>Resp</b> (g)	<b>Rd</b> (%)
1	31	6	Água	14,86	22,77
2	31	6	Água	14,40	25,16
3	31	6	Água	14,14	26,51
<b>Rd Médio</b>		<b>24,81</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>1,90</b>
4	31	10	Água	16,34	15,07
5	31	10	Água	15,57	19,07
6	31	10	Água	15,57	19,07
<b>Rd Médio</b>		<b>17,74</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>2,31</b>
7	31	13.6	Água	14,05	26,98
8	31	13.6	Água	17,62	8,42
9	31	13.6	Água	17,80	7,48
<b>Rd Médio</b>		<b>14,29</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>10,99</b>
10	35	6	Água	12,49	35,08
11	35	6	Água	11,17	41,94
12	35	6	Água	13,12	31,81
<b>Rd Médio</b>		<b>36,28</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>5,17</b>
13	35	10	Água	13,54	29,63
14	35	10	Água	15,72	18,30
15	35	10	Água	13,91	27,70
<b>Rd Médio</b>		<b>25,21</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>6,46</b>
16	35	13.6	Água	16,11	16,27
17	35	13.6	Água	12,09	37,16
18	35	13.6	Água	16,25	15,54
<b>Rd Médio</b>		<b>22,99</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>12,45</b>
19	28	6	Água	10,24	46,78
20	28	6	Água	8,56	55,51
21	28	6	Água	8,72	54,68
<b>Rd Médio</b>		<b>52,32</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>4,82</b>
22	28	10	Água	14,72	23,49
23	28	10	Água	12,02	23,49
24	28	10	Água	12,78	33,58
<b>Rd Médio</b>		<b>26,85</b>	<b>Desvio Padrão</b>		<b>5,82</b>

Onde: Rendimento de Deposição (Rd); Velocidade de Aplicação do Chapisco (Vc); Tensão de Referência Aplicada na Fonte (Ud) e Respingo (Resp).

A Figura 4.1 apresenta os resultados entre o rendimento de deposição e a velocidade de aplicação de chapisco para os diferentes valores de tensão de referência. Verifica-se que o aumento da velocidade de chapisco diminui o rendimento de deposição. Este fato pode estar relacionado à dificuldade de aderência da gota transferida pelo arco na peça de ensaio devido

à alta velocidade de aplicação do chapisco e também pela presença da água durante a aplicação do mesmo. Verifica-se também que os melhores resultados em termos de rendimento de deposição foram obtidos com maiores valores de tensão de referência menor velocidade, o que facilita a transferência metálica, mesmo na presença de água.

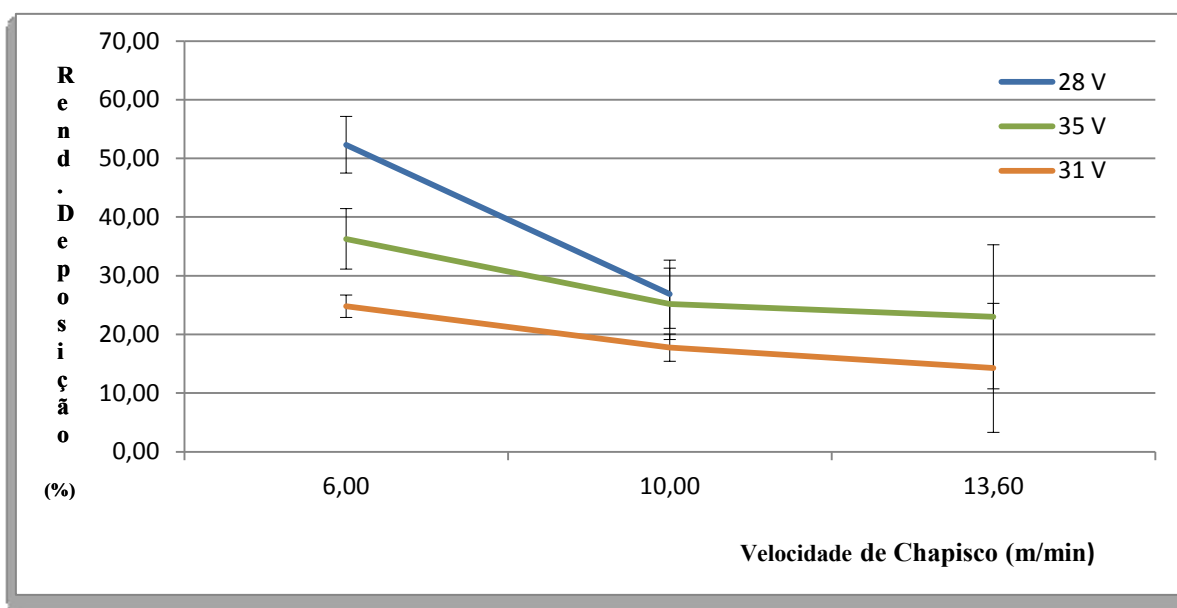


Figura 4.1 – Rendimento de deposição em função da velocidade de aplicação de chapisco e da tensão de referência.

Durante os experimentos não foram realizadas a quantidade de passes habitualmente realizados para a obtenção do chapisco na moenda (distância de um passo no outro de 3 a 4 mm). Nestes ensaios foram realizados passes a uma distância aleatória, sem a preocupação da distância de um passe ao outro, pois o objetivo destes ensaios foi obter a influência da tensão e velocidade do chapisco no rendimento de deposição. Na Figura 4.2, são apresentados os aspectos do chapisco, obtidos em laboratório para a tensão de 31 e 35 V, com as velocidades de chapisco de 6, 10 e 13,6 m/min. Onde se pode notar:

- Para a  $V_c$  de 6 m/min houve a formação do chapisco (grãos), semelhante aos obtidos pelas empresas que realizam este serviço.
- Para a  $V_c$  de 10 m/min foi obtido um aspecto semelhante ao  $V_c$  anterior, porém com uma ligeira redução (visual) nas dimensões dos grãos do chapisco, justificada pelo aumento da velocidade.



- c) Para a  $V_c$  de 13,6 m/min não foi obtida uma condição adequada para aplicação do chapisco, pois não houve a formação de tamanho de grãos esperada para o chapisco, ocorreu uma pulverização de pequenos grãos.
- d) Para menores valores de tensão de referência, menor tamanho do arco, o rendimento foi menor. Caracterizando uma condição adequada de aplicação do chapisco na presença de água aquela onde se empregou maior tensão.

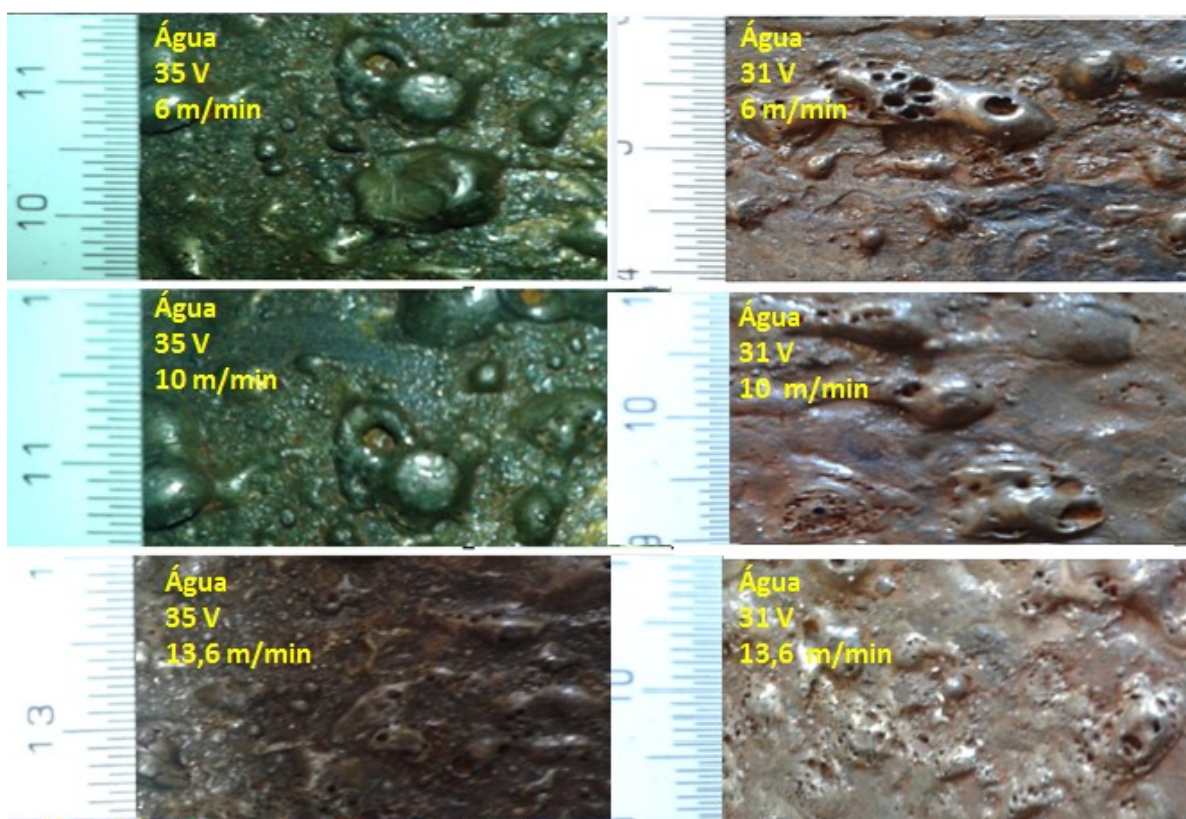


Figura 4.2 – Aspectos do chapisco obtidos com a alteração da tensão e velocidade de chapisco para a condição com água.

Como relatado anteriormente, não foi possível a realização do ensaio com a tensão de 28 V para a velocidade de 13,6 m/min, devido a dificuldade de manter o arco aberto, o que comprometeu a taxa de fusão do arame eletrodo e, conseqüentemente, o aspecto do chapisco. A Fig. 4.3 apresenta o aspecto do chapisco com pedaços de arames que não fundiram.

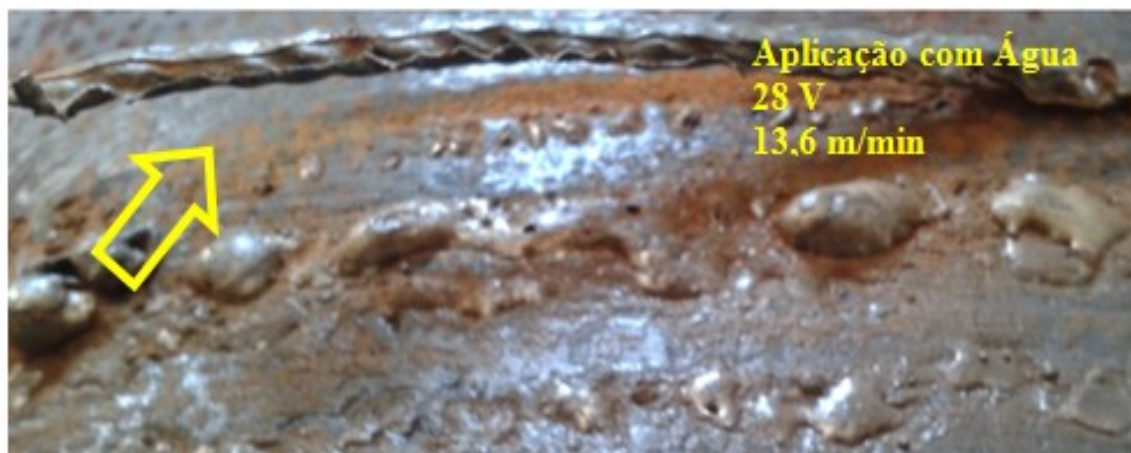


Figura 4.3 – Condição mostrando a falta de fusão do arame eletrodo (28 V e 13,6 m/min)

Para as condições de 28 V e 6 e 10 m/min foram obtidos os revestimentos, entretanto, estes apresentaram uma condição bastante diferente dos requeridos para a aplicação de chapisco em moendas, além de também apresentarem pedaços de arame eletrodo que não fundiram, como pode ser visto na Fig. 4.4, e nestas condições, quando houve a fusão do arame eletrodo, formaram-se pequenos cordões de solda ou a formação de grãos de dimensões bastante grandes fora do padrão de aceitação. Estas razões levaram à tomada de decisão de descartar os resultados obtidos de rendimento de deposição, pois eles não eram verdadeiros, uma vez que o peso do arame eletrodo não fundido ficou aderido ao metal base e não se transformou em grão de chapisco.

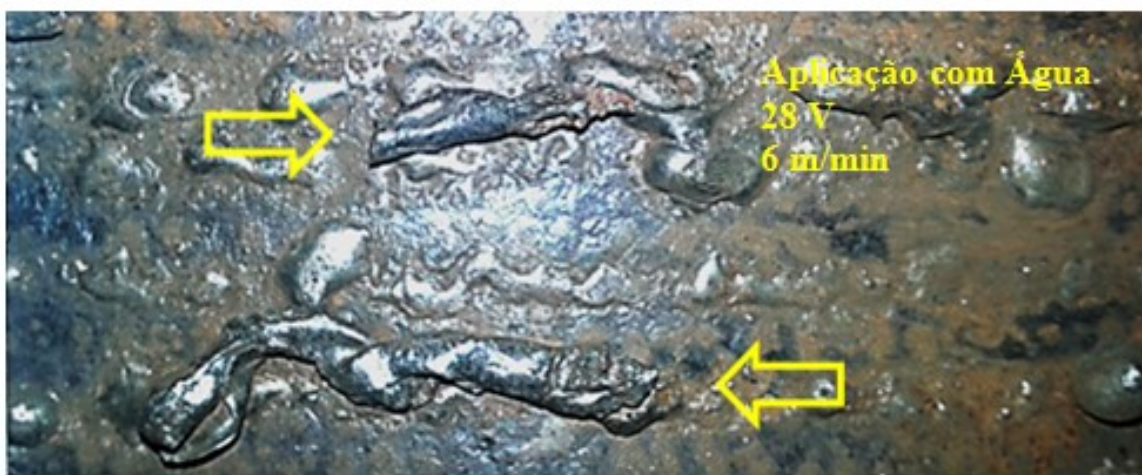


Figura 4.4 – Condição mostrando a falta de fusão do arame eletrodo (28 V e 6 m/min)



#### 4.2 Resultados com Variação na Velocidade de Chapisco, da Tensão de Chapisco Desejada e Utilizando a Técnica de Coleta de Respingos Aplicados a Seco

Os resultados obtidos com os ensaios na condição a seco e com variação da tensão de referência e velocidade de aplicação do chapisco são apresentados na Tab. 4.2.

Tabela 4.2 – Resultados Obtidos com Variação a Vc e Ud e com Aplicação a Seco

<b>Amostra</b>	<b>Ud</b> (V)	<b>Vc</b> (m/min)	<b>Cc</b> (seco/água)	<b>Resp</b> (g)	<b>Rd</b> (%)
25	31	6	Seco	9,36	51,35
26	31	6	Seco	6,56	65,90
27	31	6	Seco	7,01	63,57
<b>Rd Médio</b>		<b>60,27</b>	<b>Desvio Padrão 7,82</b>		
28	31	10	Seco	8,47	55,98
29	31	10	Seco	7,81	59,41
30	31	10	Seco	8,64	55,09
<b>Rd Médio</b>		<b>49,90</b>	<b>Desvio Padrão 5,69</b>		
31	31	13,6	Seco	12,09	37,16
32	31	13,6	Seco	14,32	25,57
33	31	13,6	Seco	10,34	46,26
<b>Rd Médio</b>		<b>36,33</b>	<b>Desvio Padrão 10,37</b>		
34	35	6	Seco	10,67	44,54
35	35	6	Seco	10,84	43,66
36	35	6	Seco	10,01	47,97
<b>Rd Médio</b>		<b>45,39</b>	<b>Desvio Padrão 2,28</b>		
37	35	10	Seco	11,87	38,31
38	35	10	Seco	10,71	44,33
39	35	10	Seco	12,86	33,16
<b>Rd Médio</b>		<b>38,60</b>	<b>Desvio Padrão 5,59</b>		
40	35	13,6	Seco	13,79	28,33
41	35	13,6	Seco	12,85	33,21
42	35	13,6	Seco	12,22	36,49
<b>Rd Médio</b>		<b>32,67</b>	<b>Desvio Padrão 4,11</b>		
43	28	6	Seco	10,11	47,45
44	28	6	Seco	10,03	47,87
45	28	6	Seco	6,56	65,90
<b>Rd Médio</b>		<b>53,74</b>	<b>Desvio Padrão 10,53</b>		
46	28	10	Seco	16,11	16,27
47	28	10	Seco	12,09	37,16
48	28	10	Seco	16,25	15,54
<b>Rd Médio</b>		<b>22,10</b>	<b>Desvio Padrão 12,60</b>		

Onde: Rendimento de Deposição (Rd); Velocidade de aplicação do chapisco (Vc); Tensão de referência aplicada na fonte (Ud), Resp = Respingo.

As condições de aplicações de chapisco mantidas constantes foram: DBCP (Distância do Bico de Contato a Peça) de 24 mm; sentido horário de aplicação do chapisco no tubo (corpo de prova); Ângulo da tocha = 35° e Velocidade de alimentação do arame eletrodo = 3,2 m/min; Tempo de realização do ensaio de 10 segundos; Massa do arame fundido durante o ensaio = 19,24g.

Não foi possível a realização do ensaio nas condições de 28 V e Vc de 13,6 m/min, devido à grande dificuldade de manutenção do arco.

A Figura 4.5 apresenta a relação do rendimento de deposição com a velocidade de aplicação do chapisco para as condições da Tabela 4.2. Verifica-se que o aumento da velocidade de aplicação do chapisco diminui no rendimento de deposição, mesma tendência dos ensaios realizados com água. Verifica-se aqui, que as melhores condições (maior rendimento de deposição) estão com menores valores de tensão (menor comprimento de arco) valores contrários a aplicação com água.

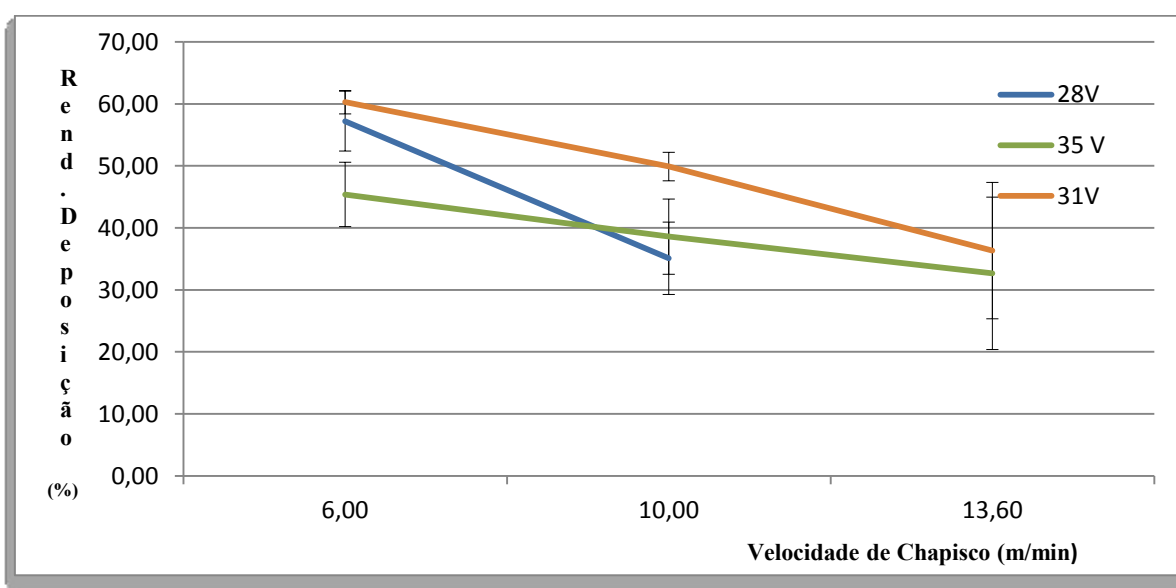


Figura 4.5 – Resultados obtidos com a alteração da Ud e Vc para a condição a seco

Para todas as velocidades (6, 10 e 13,6 m/min) e tensões (28, 31 e 35 V) ensaiadas a seco não foi obtido o chapisco com o aspecto semelhante ao exigido pelo mercado sucroalcooleiro, pois não houve a formação da rugosidade (grãos) esperada. Este apresentou grãos de forma achatada, tendendo a um cordão de solda. Este fato é provavelmente devido ao fato de a gota fundida transferir maior calor à peça, ao contrário da condição com água, a qual resfria tanto a peça quanto a gota, formando o grão de chapisco. Esta maior aderência

da gota na peça implica em um maior Rd quando comparado à aplicação com água, conforme apresentado na Figura 4.6. O aspecto mais achatado do grão não é muito bem visto pelos clientes e fabricantes de moenda por reduzirem a “pega” da moenda, promovendo assim uma queda de produção da moagem e uma maior dificuldade na extração do caldo da cana.

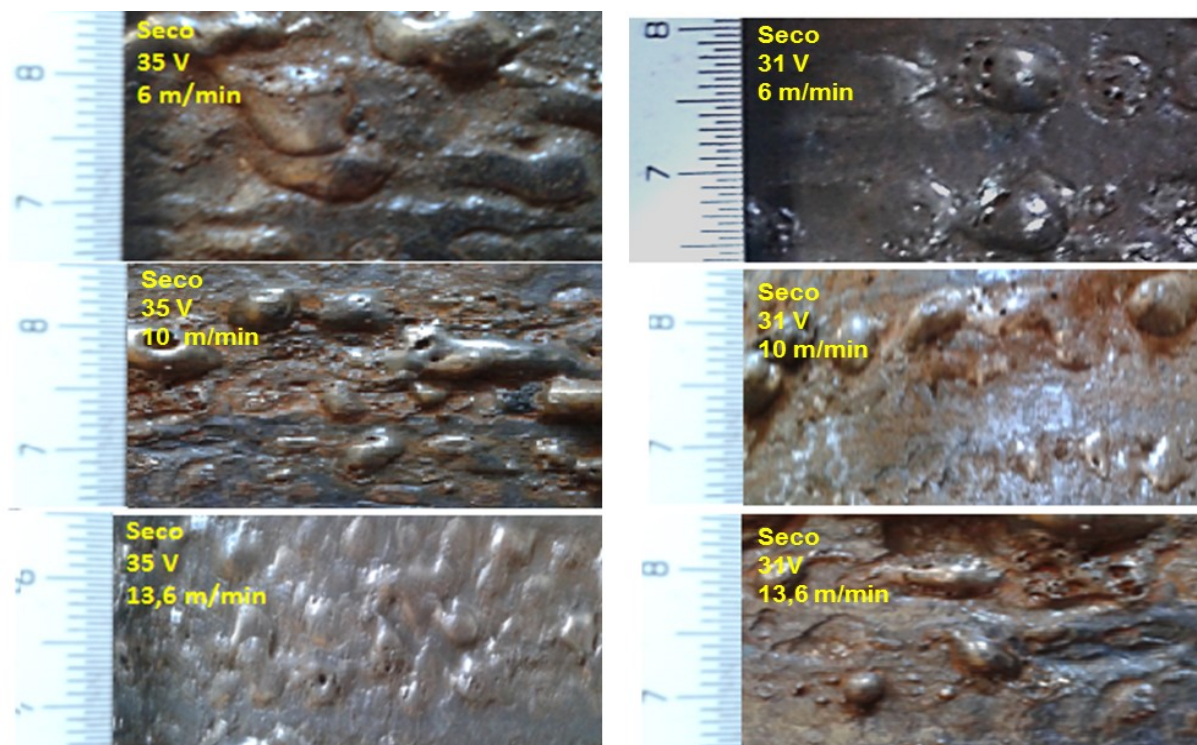


Figura 4.6 – Aspectos do Chapisco Obtidos com a Alteração da Tensão e Velocidade de Chapisco para a Condição a Seco

De forma semelhante à aplicação com água, quando se ajustou a tensão de chapisco para 28 V para a aplicação a seco, ocorreu falta de fusão, ou seja, pedaços do arame eletrodo fixaram-se ao metal base e não fundiram; e, de maneira análoga ao item 4.2, foram descartados os valores do rendimento de deposição, pois eles se mostraram falsos.

### 4.3 Comparação dos Resultados com Aplicação a Seco e com Água (item 4.2 e 4.3)

A Figura 4.7 apresenta uma comparação da aplicação do chapisco na condição com água (Tab. 4.1) e na condição a seco (Tab. 4.2), onde são comparados os valores do rendimento de deposição com a velocidade e tensão de aplicação do chapisco.

As melhores condições (maior rendimento de deposição) foram obtidas na condição a seco para a tensão de 31 V, independente da velocidade de aplicação do chapisco. Este fato pode ser explicado pela presença da água, que resfria a chapa de ensaio, dificultando a aderência da gota na mesma e gerando uma maior quantidade de respingo.

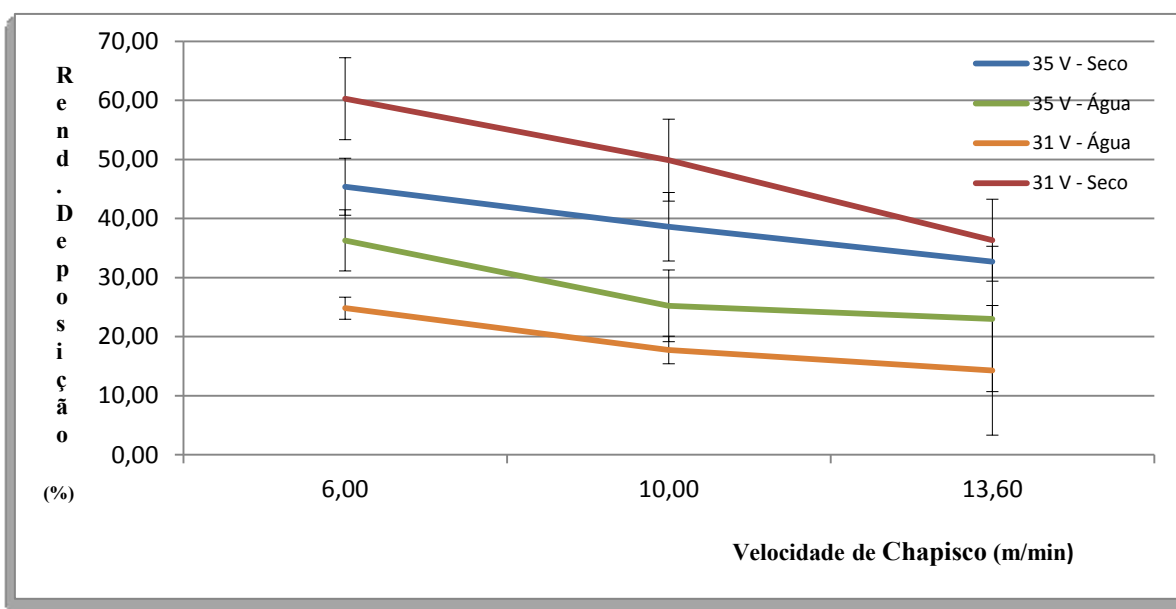


Figura 4.7 – Comparação dos Resultados Obtidos com a Alteração da Tensão e Velocidade de Chapisco para a Condição de Aplicação de Chapisco a Seco e com Água

O tempo de aplicação do chapisco (abertura e fechamento do arco) foi de 10 segundos. Este tempo foi escolhido pela dificuldade de realizar o ensaio para longos períodos, devido à dificuldade de deslocamento da tocha no sentido transversal, sobreposição da aplicação do chapisco. Este fato, abertura e fechamento do arco, pode ter contribuído para o baixo rendimento de deposição, principalmente perdas devido à abertura do arco.

#### 4.4 – Resultados com Variação na Velocidade e Tensão de Chapisco Desejada Utilizado o Procedimentos de Pesagem do Corpo de Prova Com Aplicação a Seco e com Água

O objetivo principal deste ensaio é apresentar uma comparação da técnica de obtenção do rendimento de deposição pelo método de coleta de respingos e da técnica de pesagem dos corpos de prova. Lembrando que a opção de realizar a coleta de respingos, metodologia esta desenvolvida para este estudo, se deve ao fato de ser muito difícil de realizar este procedimento em campo em função das dimensões e peso da camisa da moenda.

Cabe aqui ressaltar que as comparações dos resultados obtidos, quando se variou os parâmetros foram feitas dentro da mesma técnica de obtenção do rendimento de deposição. É evidente que os valores obtidos como uma ou com outra técnica serão diferentes. Assim, ao analisar comparativamente dentro da mesma metodologia, tem-se uma tendência dos ganhos ou perdas no rendimento de deposição.

A Tabela 4.3 apresenta os valores do rendimento de deposição obtidos a partir dos ensaios realizados com velocidade de chapisco de 6 m/mim, com a variação de tensão (28 e 36 V) e na aplicação com e sem água. A pesagem do corpo de prova antes da aplicação do chapisco (PI) e depois da aplicação do revestimento (PF) apresenta a quantidade de material de adição que efetivamente aderiu ao corpo de prova (PT). Também foi medida a massa do arame tubular (PM) em função do tempo de duração do ensaio (t), para uma velocidade de alimentação de arame eletrodo de 3,2 m/min.

Tabela 4.3 – Resultados obtidos pela técnica de pesagem dos corpos de prova

Ensaio	U (V)	I (A)	Condição (seco/água)	PI (g)	PF (g)	PT (g)	T (s)	PM (g)	Rd (%)
1	28	300	seco	1788,35	1862,90	74,55	78	149,84	49,75
2	28	310	água	1619,92	1664,30	44,38	66	126,84	34,98
3	36	290	seco	1781,20	1826,96	45,76	52	100,48	45,54

Onde U = tensão imposta, I = corrente media obtida e Rd = rendimento de deposição

Nota-se, na Tabela 4.3, que houve uma queda do rendimento de deposição de 14,77 % quando se alterou a condição de aplicação com água e a seco para uma tensão imposta de 28 V, tendência esta semelhante a apresentada na Figura 4.7.

Os resultados também confirmam a tendência de queda de rendimento quando se eleva a tensão imposta de 28 para 36 V com aplicação a seco, sendo esta queda de 4,21 %, tendência de queda de rendimento também observada na Figura 4.5.

Ao realizar a mudança dos parâmetros de aplicação do chapisco, independentemente da técnica utilizada para obtenção do rendimento de deposição, a alteração dos parâmetros contribui de forma significativa para suas mudanças de valores do rendimento de deposição. Mas é importante afirmar que as análises devem ser realizadas com a mesma metodologia.

A técnica de pesagem dos corpos de prova representa mais a realidade do que a técnica de coleta de respingo, pois a quantidade de respingo não leva em conta a perda de material por evaporação, principalmente na quantidade de fluxo fundido. Desta forma, a técnica de pesagem de respingo sempre dará um valor maior de rendimento de deposição do que a técnica de pesagem.

Em relação à qualidade do chapisco obtido quando ensaiado para as condições a seco para as tensões de 28 e 36 V, nota-se, pela Figura 4.8, que ambos os experimentos são aprovados, conforme o padrão estabelecido para este estudo. Nota-se também que a elevação da tensão contribui para o aumento dos grãos de chapisco, fato este notado também na Figura 4.6.

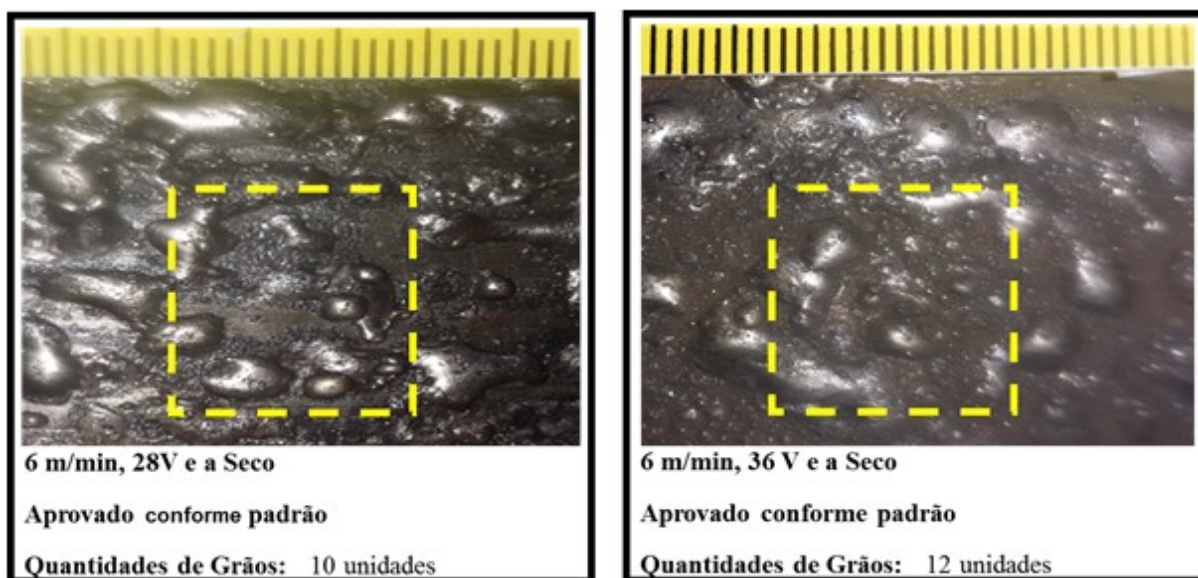


Figura 4.8 – Aspectos obtidos para a condição a seco para as tensões 36 e 28 V.

Neste experimento mostrou-se que é possível obter uma qualidade de chapisco quando se aplica na condição a seco, como mostrado na Figura 4.8, não alcançada na condição da Figura 4.6. Este fato pode ter ocorrido em função da mudança na posição da tocha (posição plana) em relação ao apresentado na Fig. 4.6 (posição vertical). Em função



destes resultados, a posição da tocha em relação à moenda é um fator a ser aprofundado em trabalhos futuros.

#### 4.5 Análise Metalográfica do Revestimento

Foram realizados 6 cordões de solda em 3 camadas com as seguintes condições: tensão de 28 V, velocidade de alimentação do arame eletrodo de 3,2 m/min. (corrente em torno de 300 A) e velocidade de soldagem de 250 cm/min. Conforme metodologia descrita no capítulo 3, no item 3.5, foi retirado um corpo de prova para as análises, apresentado na Fig. 4.9, conforme metodologia apresentada no Capítulo III.

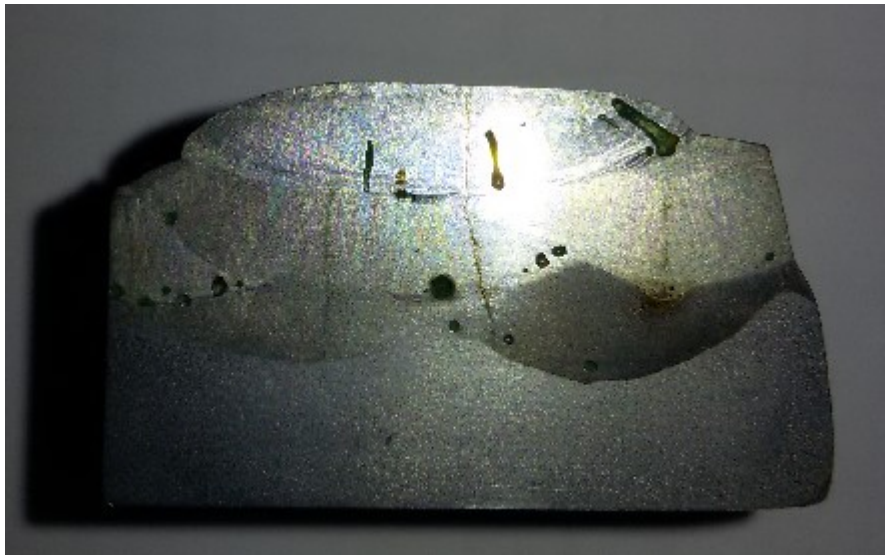


Figura 4.9 – Corpo de prova, cortado, lixado e atacado

A Tabela 4.4 apresenta os resultados obtidos de dureza após dez ensaios. Nota-se que o valor médio obtido foi o esperado e informado pelo fabricante (55 a 60 HRC):

Tabela 4.4 - Resultado da análise de dureza

Ensaio	1	2	3	4	5	6
HRC	57,5	57	57,3	56	55	55
<b>Média de HV0,3 56,3</b>			<b>Desvio Padrão de HV0,3 1,13</b>			

A Tab. 4.5 apresenta as medidas de microdureza realizadas na última camada de revestimento mostrada na Fig. 4.10, que mostra uma indentação do microdurômetro no revestimento realizado conforme as condições supracitadas. Verifica-se a presença de dentrítica de austenitas:

Tabela 4.5 - Resultado da análise de microdureza

Amostra	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
HV0,3	668	655	595	603	607	614	603	682	655	673
<b>Média de HV0,3 635,5</b>					<b>Desvio Padrão de HV0,3 34,01</b>					

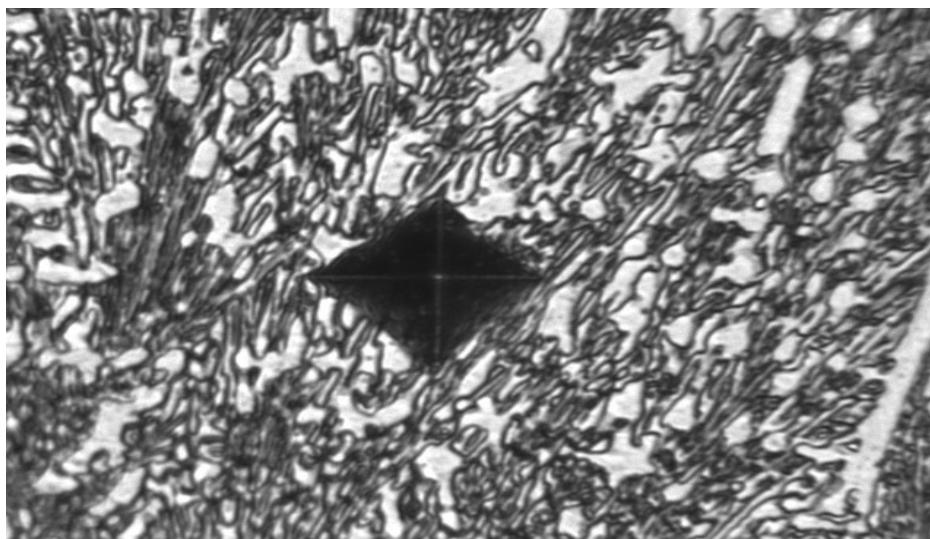


Figura 4.10 – Medida de Dureza realizada nas mostras, aumento de 50x. Ataque Nital

A Figura 4.11 apresenta a microestrutura do revestimento efetuado conforme as condições citadas acima (última camada do revestimento), onde se observa uma microestrutura composta por dendritas de austenitas e carbonetos de cromo, composição esta comum em ligas de altos teores de cromo, já observadas em estudos realizados por diversos pesquisadores, como Balsamo, Scotti e De Melo (1995), Lima (2008) e Garcia (2011).



Tais carbonetos de cromo evidenciados conferem ao revestimento uma maior resistência ao desgaste, promovendo uma maior durabilidade do chapisco, aumentando o tempo de reaplicação, necessário durante a safra e feita com a moenda em operação, ou seja, sem parar a moagem.

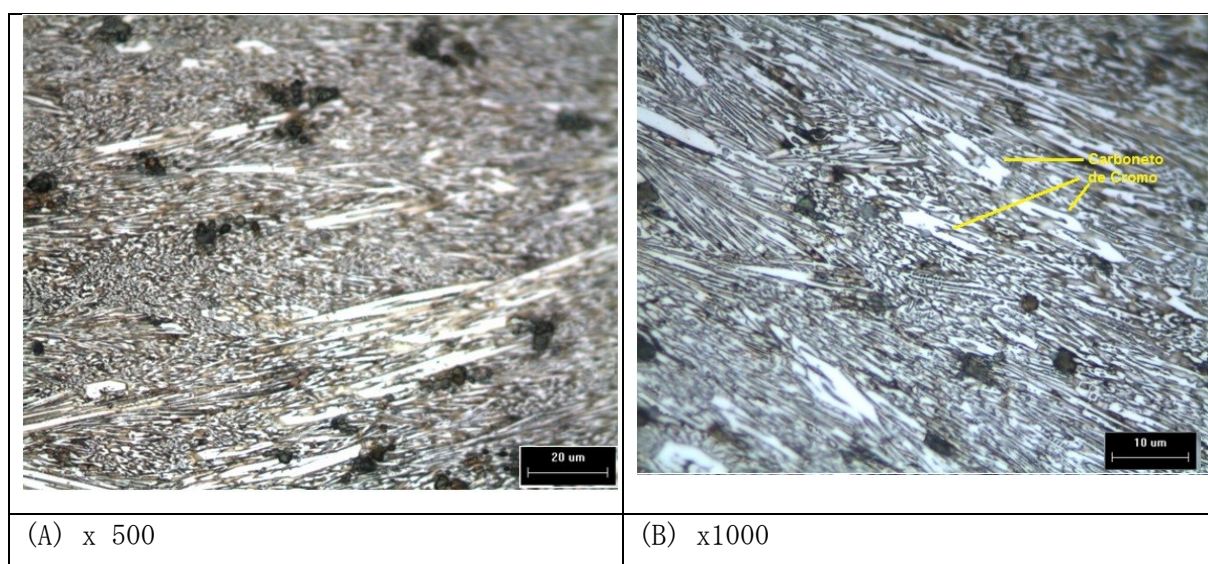


Figura 4.11 – Aspecto metalográfico obtido com ataque com água régia

#### 4.6 Comentários Finais

Por meio dos ensaios realizados até aqui foi possível observar que:

a) A alteração da velocidade de aplicação de chapisco, tanto para a condição a seco quanto úmida, apresentou mudanças significativas no valor do rendimento de deposição, isto é, menores velocidades acarretaram maiores valores de rendimento de deposição.

b) O aumento da tensão de aplicação do chapisco, na condição a seco, diminuiu o rendimento de deposição e maiores foram as perdas de materiais, ou seja, para menores valores de tensão de referência (menor tamanho do arco) o rendimento foi maior, caracterizando uma condição adequada de aplicação do chapisco na presença de água. No caso de aplicação a seco, a tensão dificulta a formação de grão desejado para o chapisco, tornando o aspecto semelhante a um cordão de solda.

c) A técnica de obtenção do valor do rendimento de deposição, obtido através da pesagem de respingo para esta aplicação, apresentou valores maiores que a técnica normalmente utilizada por pesagem dos corpos de prova, devido a não levar em conta as

perdas por evaporação. A técnica por pesagem dos corpos de prova torna-se inviável para a aplicação em campo devido ao tamanho e peso da moenda.

d) A microestrutura obtida com o arame eletrodo utilizada apresentou uma estrutura dendrita de austenita com carbonetos de cromo, fato este também observado pela literatura atual.

## **CAPÍTULO V**

### **Experimentos Realizados em Campo**

Neste capítulo são apresentados e discutidos os resultados obtidos em campo, realizados na empresa Simisa S.A., conforme metodologia apresentada no Capítulo III. Foram realizados ensaios com variação na velocidade de aplicação de chapisco, sendo estas aplicadas com e sem água; corrente; variação no ângulo entre a tocha e a superfície de aplicação do chapisco; variação no sentido de rotação da moenda durante a aplicação do chapisco.

#### **5.1 Resultados com variação na velocidade de aplicação de chapisco.**

Conforme o procedimento descrito no item 3.2.3 do Capítulo III desta pesquisa, foram realizados ensaios na empresa Simisa S.A com as condições de chapisco empregadas pela empresa e com variação na velocidade de aplicação do chapisco (doravante  $V_c$ ). Foram também obtidos os valores referentes ao peso do material depositado, como massa do arame eletrodo (doravante  $A_l$ ) e do respingo (doravante  $Resp$ ). O respingo refere-se ao material que não aderiu ao friso da moenda, coletado durante a realização do ensaio para a determinação do rendimento de deposição (doravante  $R_d$ ).

Os primeiros ensaios realizados em campo foram com os parâmetros de aplicação de chapisco da empresa (ensaos 4, 5 e 6 –  $V_c$  de 10 m/min), e estão apresentados na Tab. 5.1. Os outros ensaios com  $V_c$  de 6 e 13,6 m/min, apresentados na mesma tabela, foram propostos pela pesquisa com o objetivo de entender o efeito desta variável no aspecto do chapisco e principalmente no rendimento de deposição. Para a execução do processo de chapisco foram parametrizadas as condições de chapisco, entre elas a  $I_d$  (corrente desejada)

e a Ud (tensão de referência desejada). Apesar de a fonte utilizada ter característica estática de tensão constante, estas variáveis são fornecidas pelo operador no módulo IHM (interface homem-máquina), onde o equipamento altera a velocidade de alimentação em função da corrente desejada (Id). É um equipamento dedicado a esta aplicação, desenvolvido pela empresa Eutectic Castolin.

Foram obtidos para cada condição de aplicação de chapisco, sem repetição, medidas de tensão média (doravante Im) e corrente média (doravante Um), correspondentes à média das amostras obtidas nos ensaios através do sistema de aquisição de dados. As condições de aplicações de chapisco mantidas constantes foram: DBCP (Distância do Bico de Contato a Peça) de 24 mm; sentido horário de aplicação do chapisco na moenda; ângulo da tocha em relação ao friso da moenda foi de 35° e Velocidade de alimentação do arame eletrodo = 3,2 m/min.; o tempo de realização do ensaio foi de 1 minuto e com aplicação de água no arco elétrico. Foram realizados três ensaios de cada condição.

Verifica-se na Tab. 5.1 que existe uma diferença significativa entre os valores desejados (Id e Ud) e os valores médios (Um e Im) obtidos pelo sistema de aquisição. Por ser um equipamento construído de forma dedicada à aplicação de chapisco, não é possível alterar os valores no equipamento, pois ficaria diferente daqueles realizados pela empresa.

Tabela 5.1 – Resultados obtidos com variação a velocidade de aplicação do chapisco

Amostra	Ud (V)	Id (A)	Um (V)	Im (A)	Vc (m/min)	Al (g)	Resp (g)	Rd (%)
1	31	300			6	188,0	61,69	67,19
2	31	300	36,44	313,16	6	188,0	64,50	65,69
3	31	300			6	188,0	66,73	64,51
<b>Média de Rd</b>			<b>65,69</b>		<b>Desvio Padrão de Rd</b>			<b>1,34</b>
4	31	300			10	188,0	85,28	54,64
5	31	300	37,15	309,04	10	188,0	81,08	56,87
6	31	300			10	188,0	85,50	54,52
<b>Média de Rd</b>			<b>54,64</b>		<b>Desvio Padrão de Rd</b>			<b>1,32</b>
7	31	300			13.6	188,0	102,40	45,53
8	31	300	36,77	297,51	13.6	188,0	102,80	45,32
9	31	300			13.6	188,0	102,00	45,74
<b>Média de Rd</b>			<b>45,53</b>		<b>Desvio Padrão de Rd</b>			<b>0,21</b>

Onde: Rendimento de deposição = Rd e Vc = Velocidade de chapisco, Ud = Tensão desejada, Id = Corrente desejada, Um = Tensão média e Im = Corrente média, Resp = Respingo e Al = Massa de arame eletrodo a ser fundida em 1 minuto de ensaio.

Foi realizada análise estatística do  $R_d$  em função da  $V_c$ , conforme descrito no item 3.3 do Capítulo III, com definição de um nível de significância de 5%, isto é, uma confiabilidade de 95%. Nesse caso, quando a significância estatística ( $p$ ) é maior que 0,05, as variáveis são consideradas estatisticamente iguais; e quando é menor, são estatisticamente diferentes.

- a) Amostras 1, 2 e 3 e amostras 4, 5 e 6 apresentaram um nível de significância de  $p = 0,005$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.
- b) Amostras 1, 2 e 3 e amostras 7, 8 e 9 apresentaram um nível de significância de  $p = 0,0008$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.
- c) Amostras 4, 5 e 6 e amostras 7, 8 e 9 apresentaram um nível de significância de  $p = 0,0039$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.

A Figura 5.1 apresenta os valores do rendimento de deposição ( $R_d$ ) em função da velocidade de aplicação do chapisco ( $V_c$ ), onde se verifica que o aumento da  $V_c$  diminui significativamente o  $R_d$ . Nota-se que houve uma redução de 20,22% quando se elevou a  $V_c$  de 6 para 10 m/min, e uma redução de 20,08% quando se elevou de 10 para 13,6 m/min. Este fato ocorre devido ao valor alto da  $V_c$ , que fica acima do mínimo necessário para obter uma poça de fusão, como ocorre na soldagem de um cordão de solda. O objetivo aqui é obter pequenas gotas de metal depositado ao longo do friso da moenda. Entretanto, a maior  $V_c$  aumenta a dificuldade de aderência das gotas no friso da moenda, gerando uma maior quantidade de respingo e tendo, como consequência, uma diminuição do rendimento de deposição.

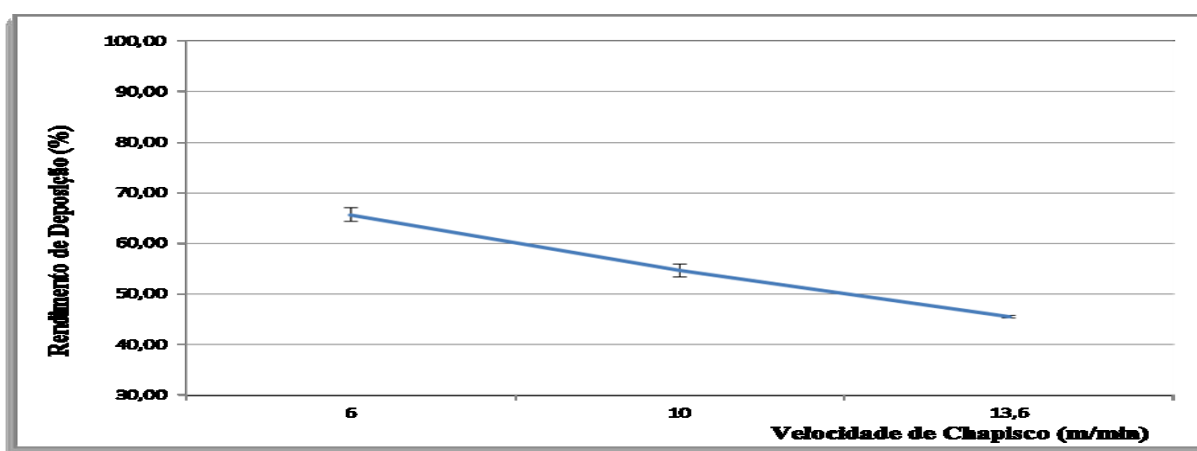


Figura 5.1 – Resultados obtidos com a variação na velocidade de aplicação do chapisco.

As Figuras 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam os oscilogramas de tensão e corrente para cada condição de velocidade de aplicação do chapisco realizado em campo, conforme Tab. 5.1. Verifica-se, pelas figuras, que tanto a corrente como a tensão apresentaram uma maior variação em seus valores com o aumento da velocidade de aplicação do chapisco. Este fato faz com que a geração de respingo aumente, diminuindo o rendimento de deposição. Novos estudos deverão ser realizados no futuro para explicar este fato.

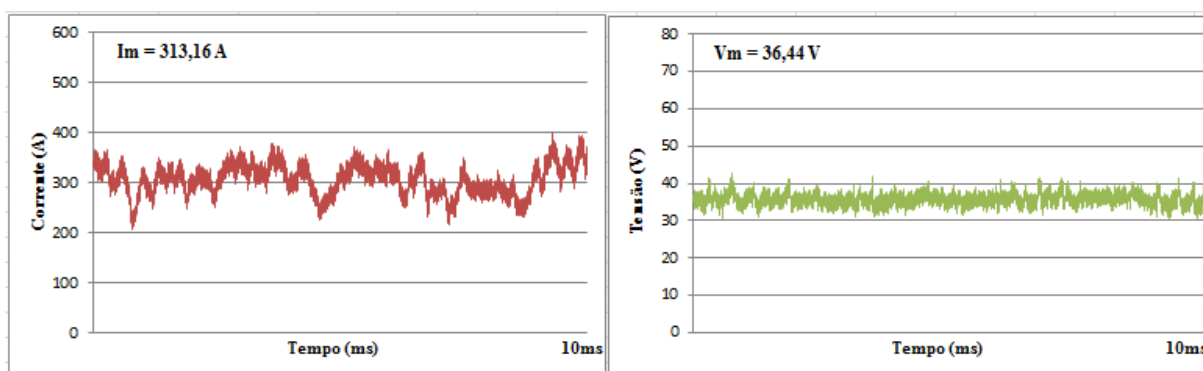


Figura 5.2 – Oscilogramas de tensão e corrente para 6 m/min e 300 A.

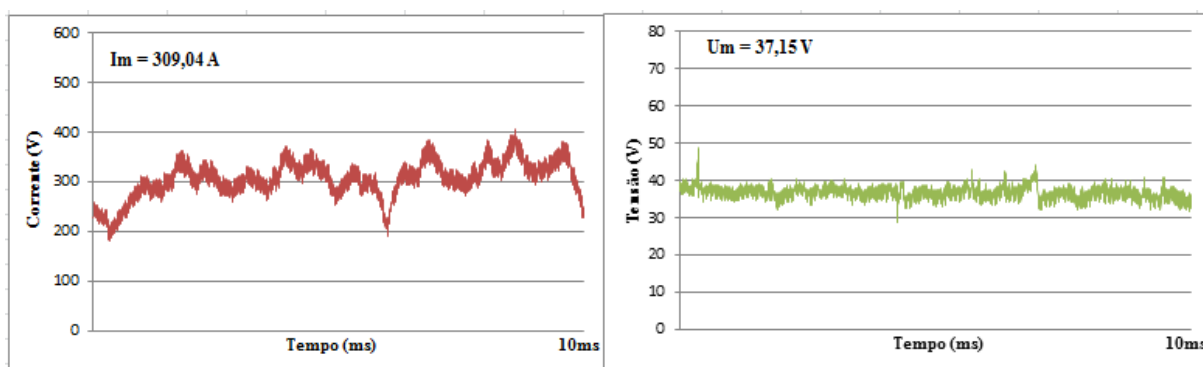


Figura 5.3 – Oscilogramas de corrente e tensão para 10 m/min e 300 A.

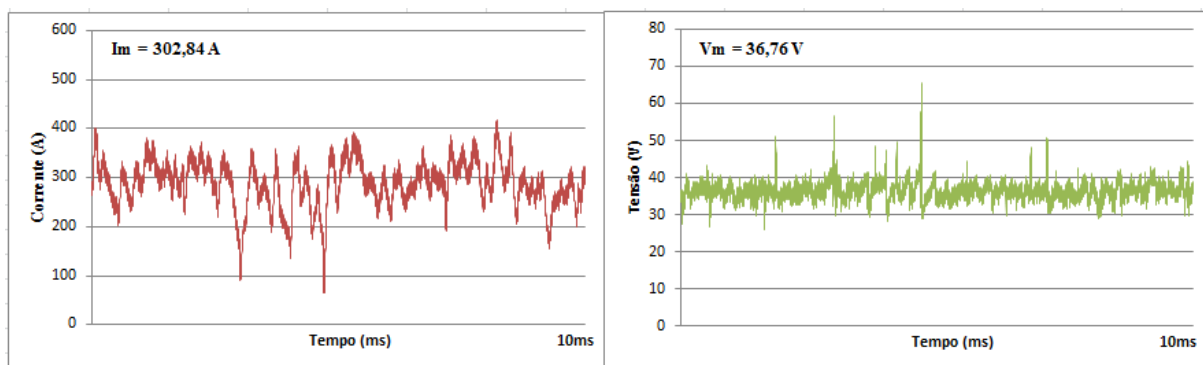


Figura 5.4 – Oscilogramas de corrente e tensão para 13,6 m/min e 300 A.



Na Figura 5.5 são apresentados os aspectos dos chapiscos aplicados no friso da moenda (dentes) para cada uma das condições de Vc mostrada na Tab. 5.1, onde é possível visualizar os aspectos dos chapiscos com o aumento de Vc.

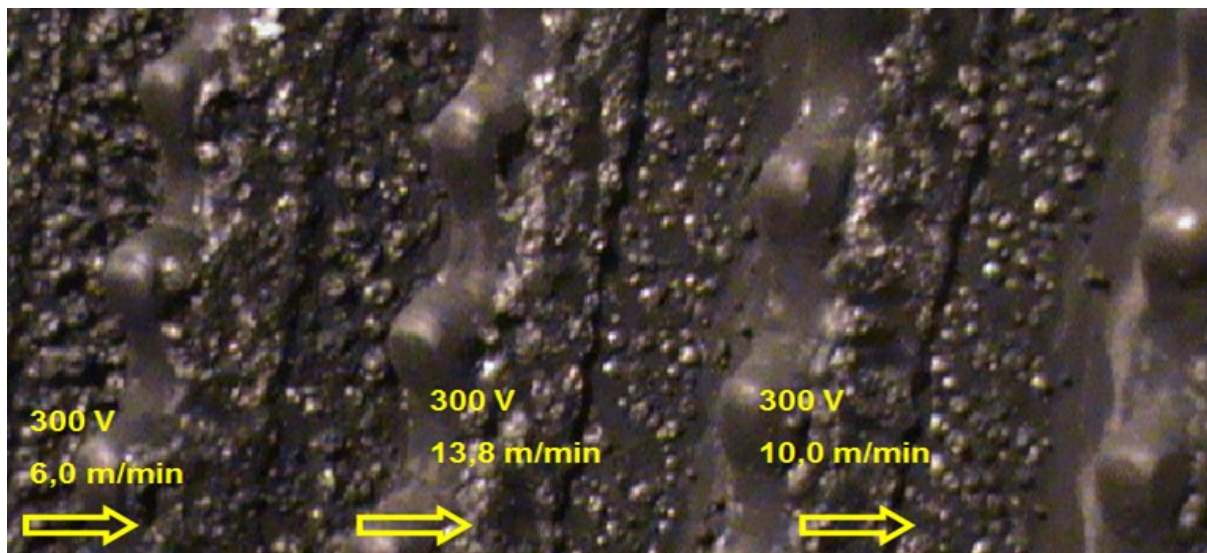


Figura 5.5 – Aspecto do chapisco obtido com a variação da velocidade de chapisco

Nas Figuras 5.6, 5.7 e 5.8 são apresentados os aspectos do chapisco para cada condição com valores medidos das dimensões dos grãos e comparados com o padrão definido no item 3.4 do Capítulo III, Tab. 3.5, ou seja, aqui enquadrrou-se cada condição ensaiada ao padrão anteriormente definido neste estudo, aprovando ou reprovando a amostra.

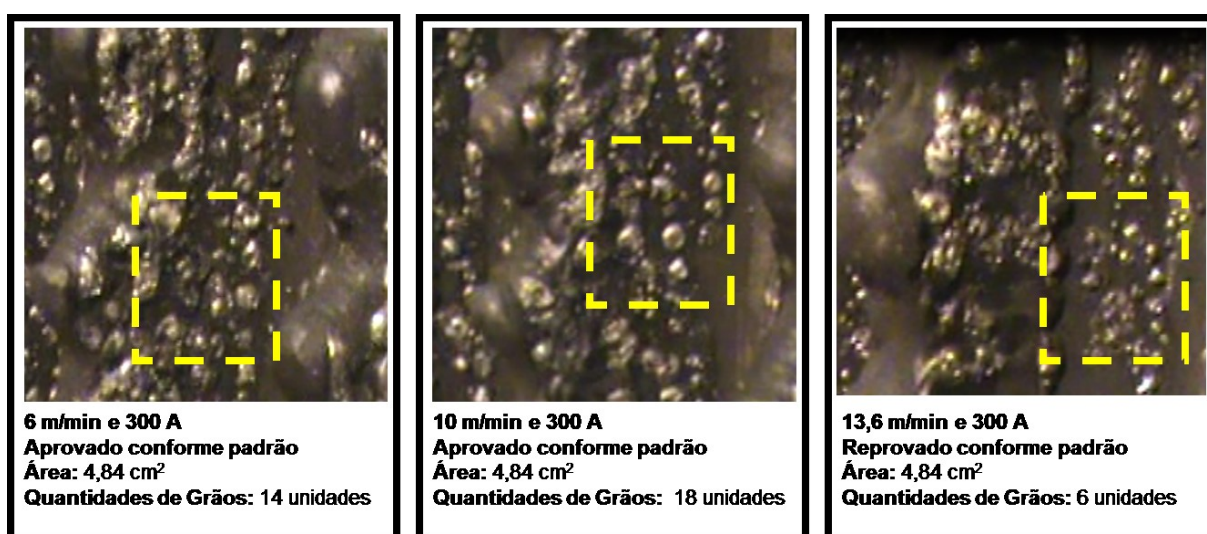


Figura 5.6 – Aspecto do chapisco obtido com as Vc de 6, 10 e 13,6 m/min

Verifica-se na Fig. 5.6, para a velocidade de aplicação de chapisco em 13,5 m/min, que os aspectos de qualidade do chapisco obtido não foram satisfatórios, pois os grãos sofreram uma redução significativa em seu diâmetro, fora da especificação definida na Tab. 3.5 do Capítulo III, isto é, a quantidade desejada de grãos deve ficar entre 10 a 20 com diâmetros entre 2 a 4 mm e altura entre 1 e 2 mm. Assim, o aspecto obtido foi de uma pulverização de respingos e não de um chapisco. Este resultado não foi aceito pelo engenheiro da Simisa S.A., que alegou se tratar de uma granulação muito fina e muito pulverizada cujo aspecto não proporciona um bom rendimento do equipamento, pois reduz a “pega” da moenda, ou seja, a cana desliza dentro do friso da moenda retirando a produtividade do equipamento. Vale lembrar que um dos objetivos do chapisco é deixar o friso da moenda com mais atrito. Para as demais velocidades (6 e 10 m/min), além de serem enquadradas no padrão (Tab. 3.5 do Capítulo III), foram aprovados pelo engenheiro responsável. Este fato demonstra que o aumento da velocidade de aplicação do chapisco implica em uma queda na qualidade desejada do chapisco, obtendo-se uma quantidade grande de grãos com dimensões inferiores aos desejados. Este resultado implicou também em uma queda no valor do rendimento de deposição.

Verifica-se, com estes resultados, que o emprego de  $V_c$  de 6 m/min obtém um  $R_d$  de 65,69 % contra 54,64 % daquele empregado pelas empresas fabricantes deste equipamento ( $V_c = 10$  m/min), ou seja, um ganho de 20,22 % na quantidade de material depositado, mantendo praticamente a mesma qualidade de aplicação do chapisco. Entretanto, existe uma maior demora na aplicação, isto é, uma menor produtividade. É necessária uma análise de custo para poder justificar a necessidade de uma diminuição na  $V_c$ . Este tópico será abordado no item 5.7.

## **5.2 Resultados com variação das condições de aplicação de chapisco (seco ou com água) e velocidades de chapisco.**

Os resultados obtidos com os ensaios na condição a seco, isto é, sem a aplicação de água durante a realização do chapisco, com variação de  $V_c$  estão apresentados na Tab. 5.2. Foram realizados apenas ensaios com  $V_c$  de 6 e 10 m/s, pois os ensaios com velocidade de 13,6 m/s apresentaram uma grande instabilidade do processo, não sendo possível a sua realização. Este fato pode estar relacionado ao tipo de fluxo do arame tubular. Para entender o que ocorre com este tipo de arame tubular, é importante realizar ensaios em trabalhos futuros, com equipamento de filmagem de alta velocidade com o intuito de se verificar a causa desta instabilidade.



As condições de aplicações de chapisco mantidas constantes foram: DBCP (Distância do Bico de Contato a Peça) de 24 mm; sentido horário de aplicação do chapisco no tubo (corpo de prova); ângulo da tocha em relação ao friso da moenda de 35° e velocidade de alimentação do arame eletrodo de 3,2 m/min; tempo de realização do ensaio de 1 minuto. Foram realizados três ensaios de cada condição.

Tabela 5.2 – Resultados obtidos variando-se a condição de chapisco seco/água

<b>Amostra</b>	<b>Ud (V)</b>	<b>Id (A)</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Cc (água ou seco)</b>	<b>Al (g)</b>	<b>Resp (g)</b>	<b>Rd (%)</b>
10	31	300	6	Seco	188	65,28	65,28
11	31	300	6	Seco	188	61,08	67,51
12	31	300	6	Seco	188	65,50	65,16
<b>Média Rd 65,28</b>				<b>Desvio Padrão Amostral de Rd 1,32</b>			
13	31	300	10	Seco	188	84,08	55,28
14	31	300	10	Seco	188	72,36	61,51
15	31	300	10	Seco	188	73,90	60,69
<b>Média Rd 60,53</b>				<b>Desvio Padrão Amostral de Rd 3,39</b>			

Onde: Cc = Condição de aplicação com água ou a seco

Verifica-se que a Vc e a condição de aplicação (seco/água) não contribuíram diretamente para a variação do Rd, conforme comparação entre as amostras na análise estatística abaixo:

- Amostras 1, 2 e 3 e amostras 10, 11 e 12 apresentaram um nível de significância de 0,4401, com a confiabilidade adotada de 95%, caracterizando-se como estatisticamente iguais.
- Amostras 4, 5 e 6 e amostras 13, 14 e 15 apresentaram um nível de significância de 0,0733, com a confiabilidade adotada de 95%, caracterizando-se estatisticamente iguais.

A análise estatística mostra que a variação na condição de aplicação de chapisco é muito semelhante, isto é, a aplicação a seco não interfere estatisticamente nos resultados do rendimento de deposição.

Comparando estes ensaios realizados a seco (Tab. 5.2) com os realizados com água (ensaio de 1 a 9 da Tab. 5.1), verifica-se que houve uma elevação (em média) de aproximadamente 10% no Rd para a condição de VC de 10 m/min. Para a Vc de 6 m/min, esta diferença é insignificante. A Fig. 5.7 mostra a variação da Vc na condição com água e a seco. Verifica-se também que independentemente da condição, existe uma diminuição do Rd com o aumento da Vc.

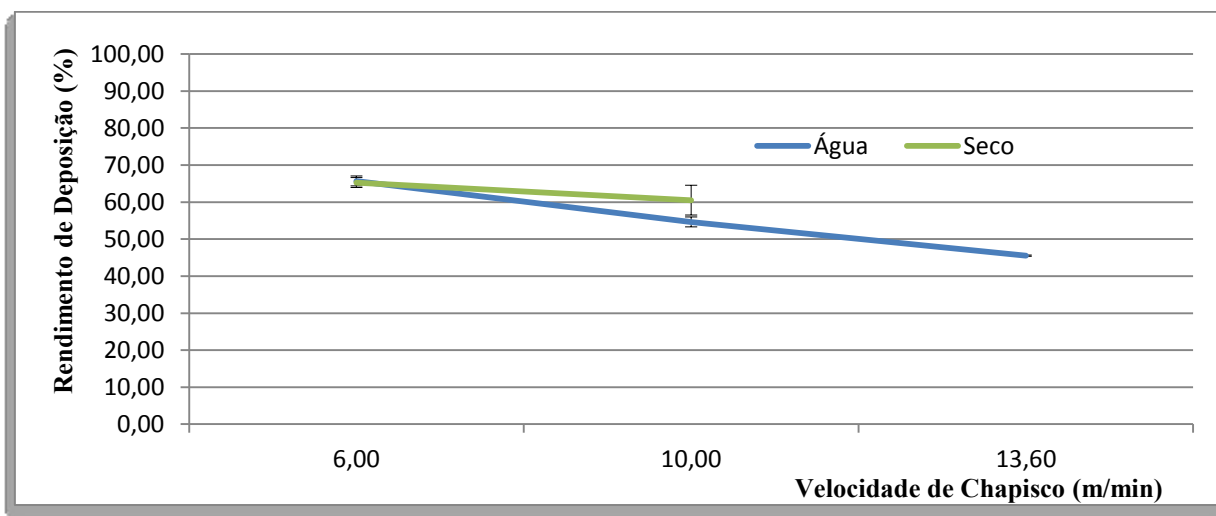


Figura 5.7 – Resultados obtidos com a alteração da Vc e condição de chapisco (seco/água)

A Figura 5.8, apresenta um comparativo entre as aparências dos resultados de aplicação a seco e com água, para a velocidade de 10 m/min. Pode-se notar que a aparência do chapisco teve uma leve tendência a uniformizar os grãos, isto é, perdendo a qualidade desejada para esta aplicação. O mesmo ocorreu para as outras amostras com velocidades de chapisco, que não serão apresentadas.



Figura 5.8 - Comparativo entre as aparências dos resultados de aplicação a seco e com água, para a velocidade de 10 m/min

A Figura 5.9 apresenta a análise realizada com o resultado obtido variando-se a Vc na condição a seco com o padrão definido neste estudo. Verifica-se que estas condições não foram aprovadas, isto é, os grãos ficaram achatados, fora das dimensões requeridas para esta aplicação.

Com isto, pode-se afirmar que para os parâmetros de chapisco aplicados, a condição a seco, apesar de ter um rendimento de deposição médio pouco superior em relação à condição com água ( $V_c$  de 10 m/min), não atende ao padrão estabelecido neste estudo, nem o exigido pelo mercado.

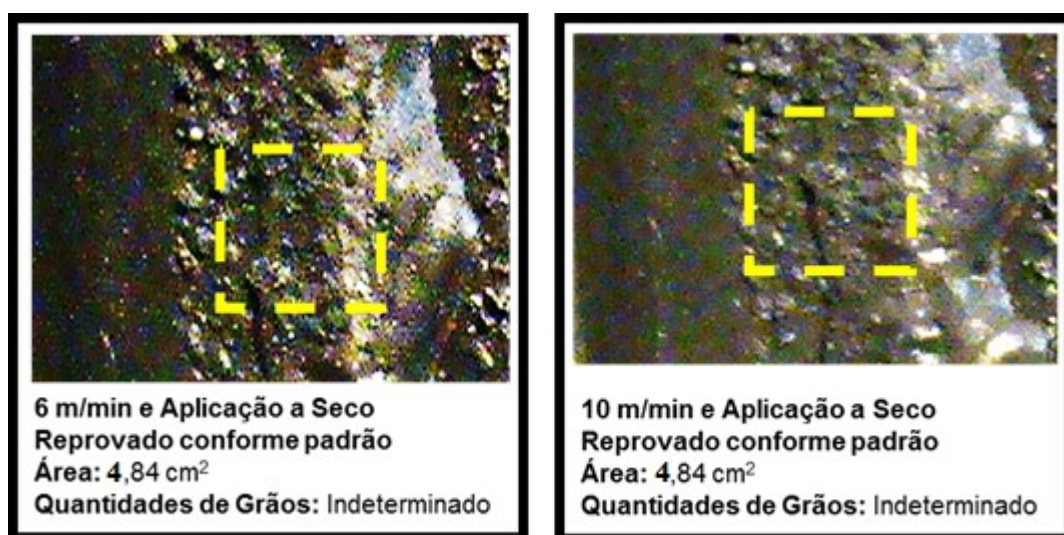


Figura 5.9 - Aspecto do chapisco obtido com  $V_c$  de 6 e 10 m/min e na condição a Seco

### 5.3 Resultados com Variação da Corrente e Velocidade de Chapisco

Em outra proposta de análise, foram realizados ensaios variando em conjunto a velocidade de aplicação do chapisco e a corrente imposta no sistema ( $I_d$ ) com aplicação de água, cujos valores estão apresentados na Tab. 5.3. Busca-se aqui encontrar novos parâmetros de aplicação de chapisco com o objetivo de melhorar a qualidade e o rendimento de deposição. Desse modo, as amostras 16 a 21 são referentes a  $I_d$  de 250 A e as amostras 22 a 33 são referentes a  $I_d$  de 380 A. Com estas referências, a velocidade de alimentação do arame no equipamento foi de 2,6 m/min para a corrente de 250 A e de 4,0 m/min para a corrente de 380 A.

Tabela 5.3 – Resultados obtidos variando-se a velocidade e a corrente de chapisco

<b>Amostra</b>	<b>Ud (V)</b>	<b>Id (A)</b>	<b>Um (V)</b>	<b>Im (A)</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Al (g)</b>	<b>Resp (g)</b>	<b>Rd (%)</b>
16	31	250			6	150,40	54,11	64,02
17	31	250	37,93	253,82	6	150,40	55,01	63,43
18	31	250			6	150,40	60,40	59,84
<b>Média de Rd 63,43</b>			<b>Desvio Padrão de Rd 2,26</b>					
19	31	250			10	150,40	61,69	58,98
20	31	250	38,1	260,49	10	150,40	64,50	57,11
21	31	250			10	150,40	66,73	55,63
<b>Média de Rd 57,11</b>			<b>Desvio Padrão de Rd 1,68</b>					
22	31	250			13,6	150,40	89,80	40,29
23	31	250	38,12	272,72	13,6	150,40	86,75	42,32
24	31	250			13,6	150,40	88,42	41,21
<b>Média de Rd 41,21</b>			<b>Desvio Padrão de Rd 1,02</b>					
25	31	380			6	238,13	102,40	57,00
26	31	380	36,05	361,81	6	238,13	102,80	56,83
27	31	380			6	238,13	102,00	57,17
<b>Média de Rd 57,00</b>			<b>Desvio Padrão de Rd 0,17</b>					
28	31	380			10	238,13	92,84	61,01
29	31	380	35,82	397,71	10	238,13	95,80	59,77
30	31	380			10	238,13	90,48	62,00
<b>Média de Rd 61,01</b>			<b>Desvio Padrão de Rd 1,12</b>					
31	31	380			13,6	238,13	127,80	46,33
32	31	380	36,05	381,81	13,6	238,13	125,60	47,26
33	31	380			13,6	238,13	135,12	43,26
<b>Média de Rd 46,33</b>			<b>Desvio Padrão de Rd 2,09</b>					

É importante lembrar que o equipamento tem uma fonte com característica estática de tensão constante e que a alteração na Id implica na alteração da velocidade de alimentação do arame, não sendo possível alterar a velocidade de alimentação do arame eletrodo diretamente no equipamento.

Foi realizada a análise estatística utilizando de forma comparativa os resultados realizados com Id de 300 A (Tab. 5.1 – ensaio 1 a 9), conforme descrito abaixo:

- a) Amostras 1, 2 e 3 (6 m/min e 300 A) e amostras 16, 17 e 18 (6 m/min e 250 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,0203$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.

- b) Amostras 1, 2 e 3 (6 m/min e 300 A) e amostras 28, 29 e 30 (6 m/min e 380 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,0272$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.
- c) Amostras 16, 17 e 18 (6 m/min e 250 A) e amostras 28, 29 e 30 (6 m/min e 380 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,2503$ , caracterizando-se como estatisticamente iguais, com confiabilidade de 95%.
- d) Amostras 4, 5 e 6 (10 m/min e 300 A) e amostras 19, 20 e 21 (10 m/min e 250 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,01337$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.
- e) Amostras 4, 5 e 6 (10 m/min e 300 A) e amostras 25, 26 e 27 (10 m/min e 380 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,0958$ , caracterizando-se como estatisticamente iguais, com confiabilidade de 95%.
- f) Amostras 19, 20 e 21 (10 m/min e 250 A) e amostras 25, 26 e 27 (10 m/min e 380 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,4160$ , caracterizando-se como estatisticamente iguais, com confiabilidade de 95%.
- g) Amostras 7, 8 e 9 (13,6 m/min e 300 A) e amostras 22, 23 e 24 (13,6 m/min e 250 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,0116$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.
- h) Amostras 7, 8 e 9 (13,6 m/min e 300 A) e amostras 31, 32 e 33 (13,6 m/min e 380 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,2770$ , caracterizando-se como estatisticamente iguais, com confiabilidade de 95%.
- i) Amostras 22, 23 e 24 (13,6 m/min e 250 A) e amostras 31, 32 e 33 (13,6 m/min e 380 A), representaram um nível de significância de  $p = 0,0338$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.

Na Figura 5.10, mostra-se a variação da corrente de chapisco ( $I_d$  de 250, 300 e 380 A), e com as  $V_c$  ensaiadas (6, 10 e 13,6 m/min), onde verifica-se que:

- a) O comportamento de diminuição do  $R_d$  com o aumento da  $V_c$  também ocorre para maior e menor corrente de aplicação do chapisco, isto é, menor e maior velocidade de alimentação do arame eletrodo.
- b) Os valores de  $R_d$  obtidos para os valores de correntes desejadas ( $I_d$ ) apresentaram valores muito semelhantes, poucas variações em seus valores médios.
- c) Com base nestes resultados, verifica-se que independentemente da velocidade de alimentação do arame eletrodo aplicado (corrente desejada), a melhor condição de rendimento de deposição é para a  $V_c$  de 6,0 m/min.

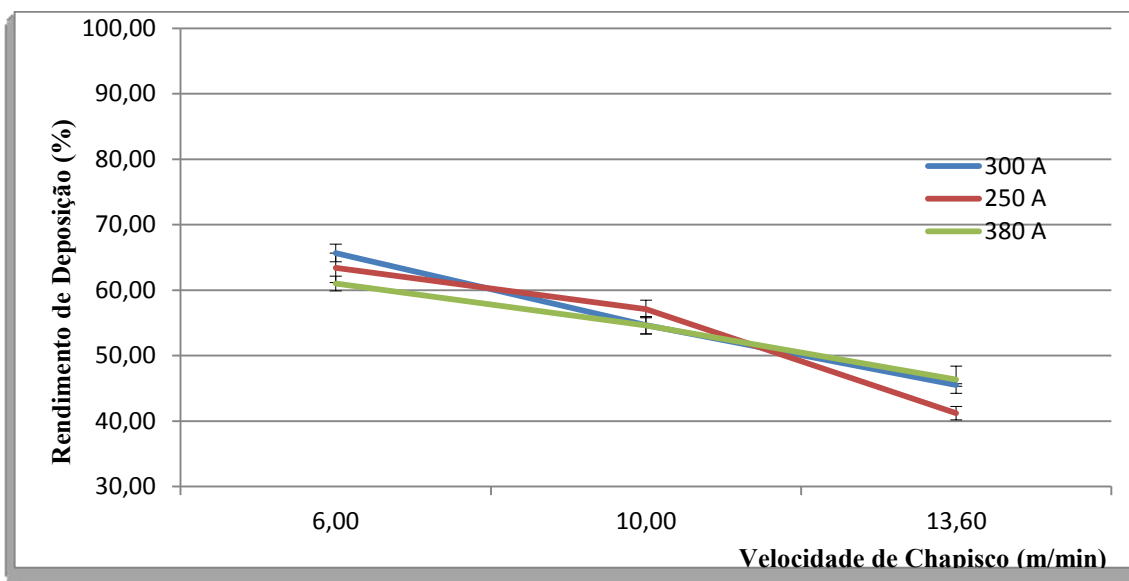


Figura 5.10 – Resultados obtidos com a alteração da Vc e Id de aplicação do chapisco.

Os fatos observados anteriormente nos oscilogramas de corrente e tensão (Fig. 5.2, 5.3 e 5.4) também são observados nos oscilogramas dos ensaios realizados na Tab. 5.3 (Fig. 5.11 a 5.16), onde se observa que o aumento da velocidade de aplicação do chapisco acarreta em maior variação dos valores de corrente e tensão, isto é, maior a quantidade de respingo é gerado, diminuindo o rendimento de deposição.

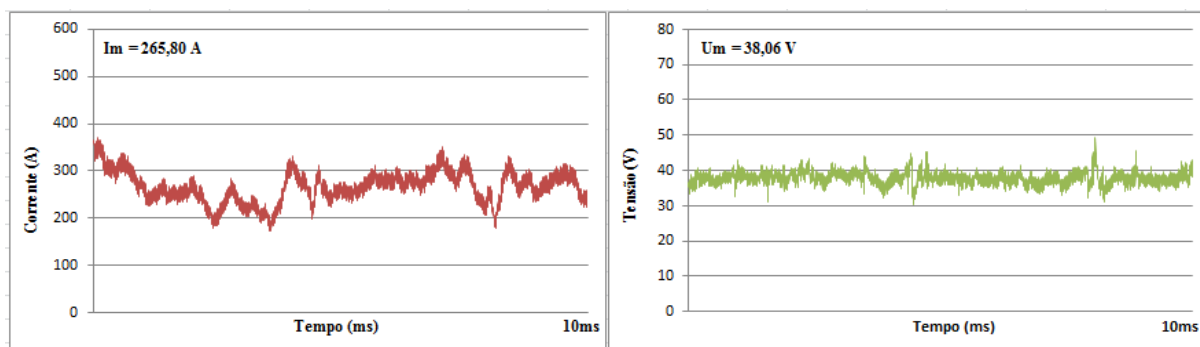


Figura 5.11 – Oscilogramas de corrente e tensão para 6 m/min e 250 A

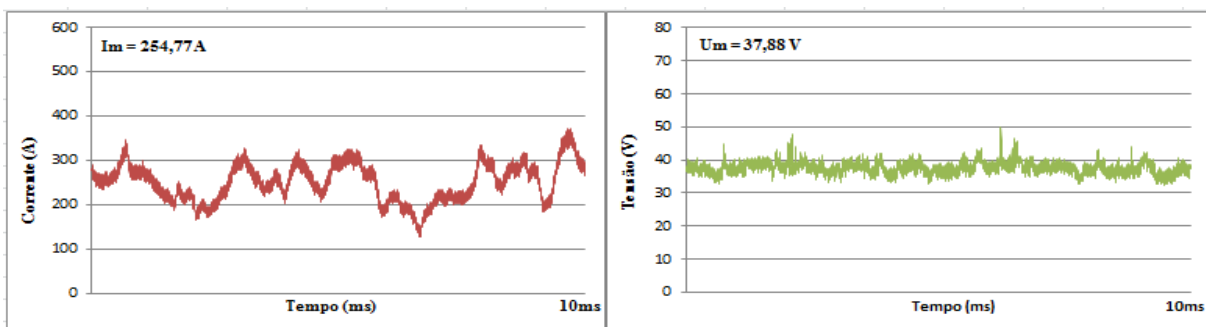


Figura 5.12 – Oscilogramas de corrente e tensão para 10 m/min e 250 A.

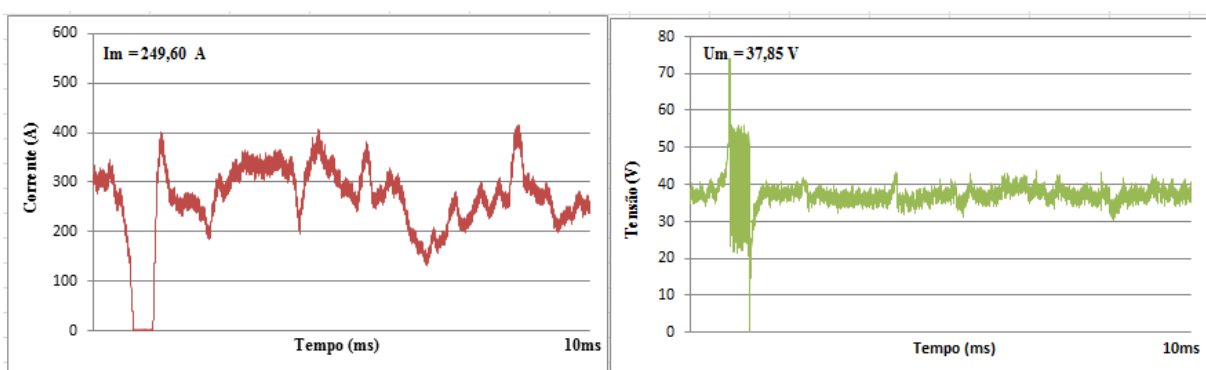


Figura 5.13 – Oscilogramas de corrente e tensão para 13,6 m/min e 250 A

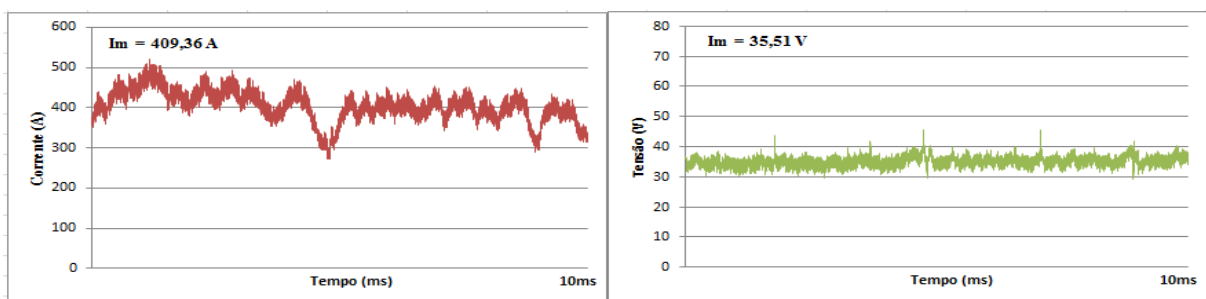


Figura 5.14 – Oscilogramas de corrente e tensão para 6 m/min e 380 A

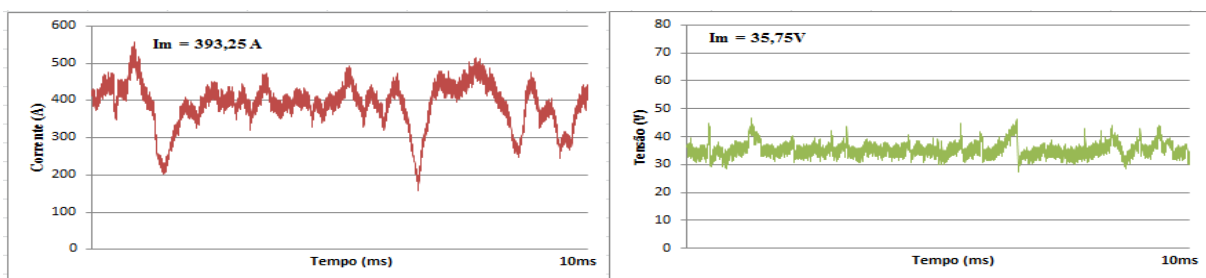


Figura 5.15 – Oscilogramas de corrente e tensão para 10 m/min e 380 A



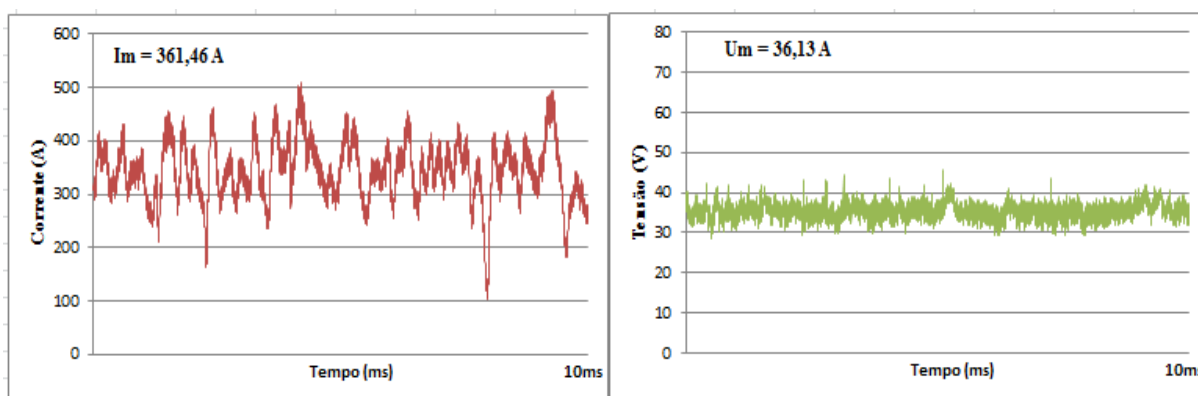


Figura 5.16 – Oscilogramas de corrente e tensão para 13,6 m/min e 380 A

Nas Figuras 5.17 (250 A) e 5.18 (380 A), são apresentadas a comparação dos aspectos dos chapiscos para as condições da Tab. 5.3, e podem ser comparadas a Fig. 5.5 (300 A). Nestas, pode-se notar que na medida em que a  $V_c$  aumenta, a tendência é a redução na quantidade e nas dimensões dos grãos.

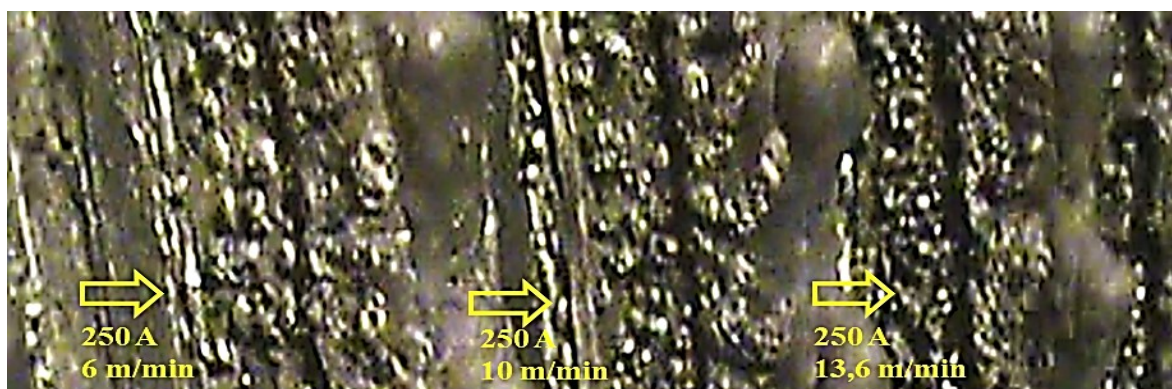


Figura 5.17 – Comparativo entre as aparências do chapisco obtidas para 250 A e variação de  $V_c$



Figura 5.18 – Comparativo entre as aparências do chapisco obtidas para 380 A e variação de  $V_c$

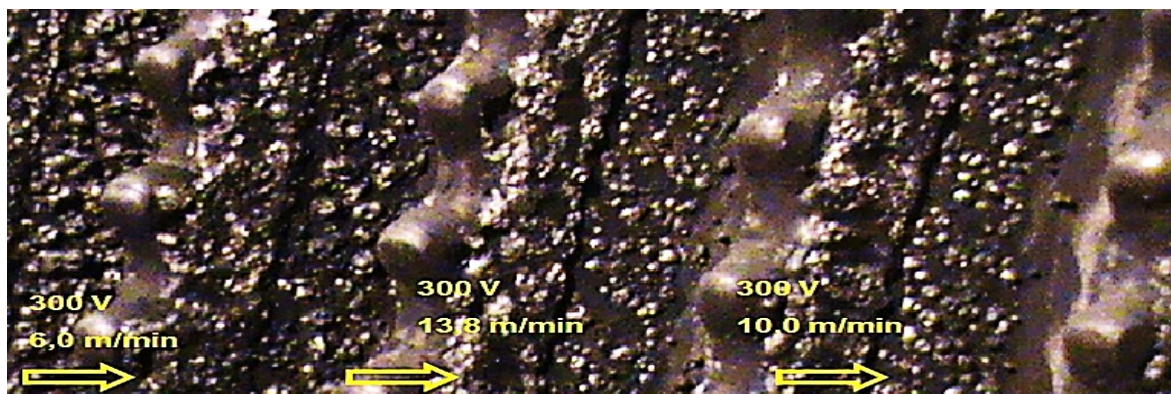


Figura 5.5 – Aspecto do chapisco obtido com a variação da velocidade de chapisco

Nas Figuras 5.19 e 5.20 são apresentadas as comparações das amostras obtidas na variação conjunta da Id de 240 e 380 A e da Vc de 6 a 13,6 m/min.

Em relação a qualidade, a condição ensaiada comparada ao padrão anteriormente definido neste estudo, nota-se que não se enquadraram no padrão os ensaios realizados com Id de 380 A para as Vc de 10 e 13,6 m/min, onde pode-se observar que, nestas condições, os grãos perderam dimensões e aqueles que se enquadraram ao padrão (diâmetro de 1 a 4 mm e altura de 1 a 2 mm) tiveram suas quantidades reduzidas abaixo de 10 unidades (menor que o mínimo do padrão). Os ensaios com Vc de 6 m/min tiveram suas amostras aprovadas para todas as correntes de referência.

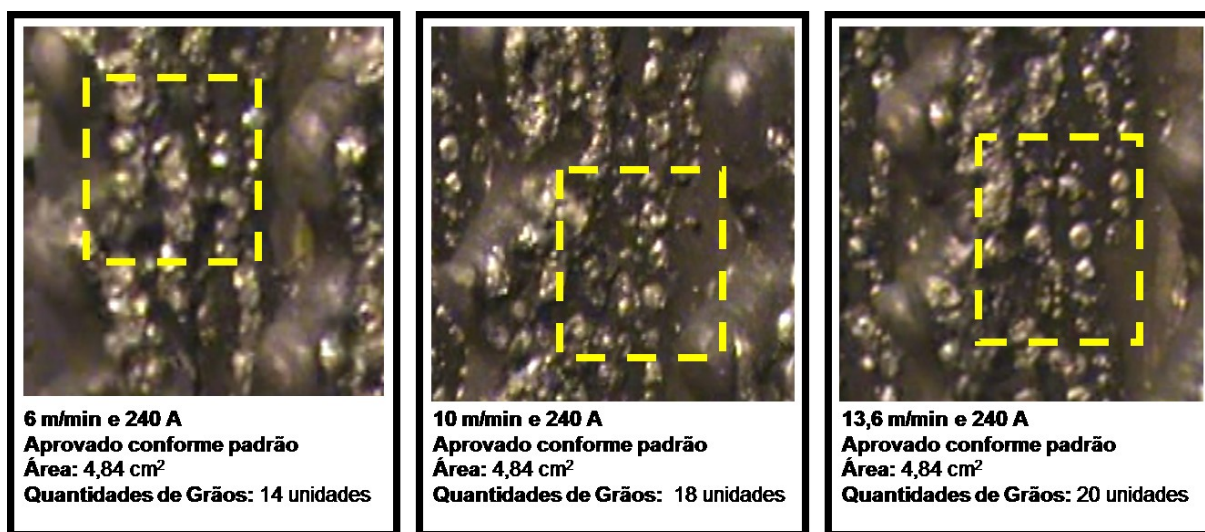


Figura 5.19 – Aspecto do chapisco obtido com a Vc = 6 a 13,6 m/min e para uma Id = 250 A



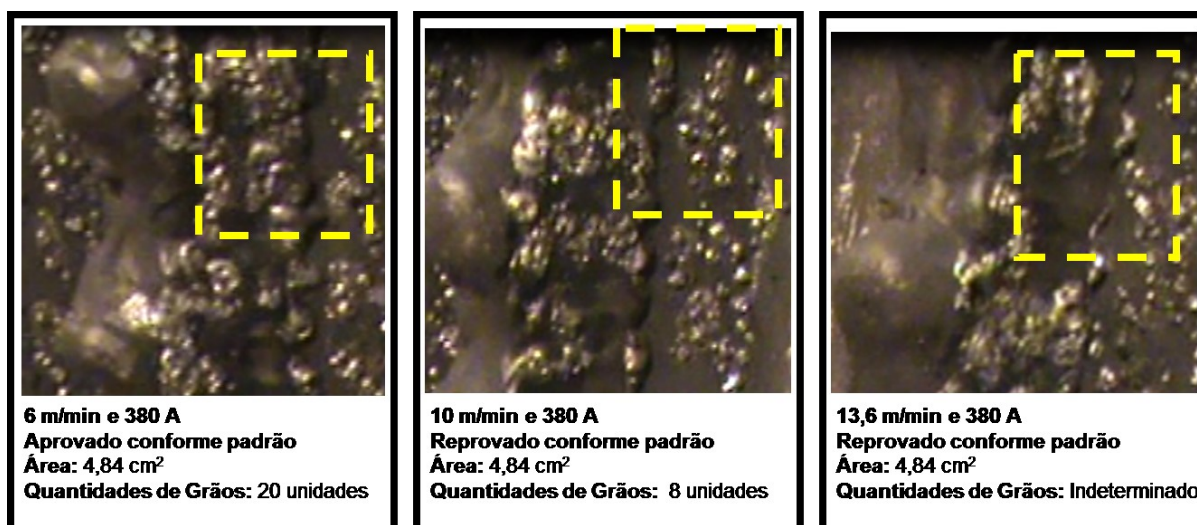


Figura 5.20 – Aspecto do chapisco obtido com a  $V_c = 6$  a  $13,6$  m/min e para uma  $I_d = 380$  A

Com o objetivo de facilitar a análise deste tópico e compreender a contribuição da alteração em conjunto destes parâmetros, serão levantadas as energias de aplicação do chapisco (ES), apresentadas na Tab. 5.4. A energia imposta pela fonte de aplicação do chapisco foi calculada através do produto da corrente de chapisco pela tensão de chapisco dividido pela velocidade de chapisco ( $ES = U_m \times I_m / V_c$ ) e está relacionada com a energia total produzida pelo equipamento de aplicação do chapisco. Para esta análise foram utilizados os valores médios obtidos pelo sistema de aquisição de dados de tensão e corrente de aplicação do chapisco. Também é apresentada na Tab. 5.4 a relação entre a velocidade de chapisco e a velocidade de alimentação do arame eletrodo ( $V_a/V_c$ ). Além disto, são apresentadas também as condições de qualidade, isto é, se foi possível alcançar a qualidade desejada ou não.

Tabela 5.4 – Resultados obtidos variando-se a  $V_c$  e a  $I_d$

Amostra	$V_m$ (V)	$I_m$ (A)	$V_a$ (m/min)	$V_c$ (m/min)	$V_a/V_c$	Qualidade	$R_d$ (%)	ES kJ/m
17	37,9	253,6	2,6	6	0,43	A	63,43	96,11
20	38,1	260,5	2,6	10	0,26	A	57,11	59,55
23	38,1	272,7	2,6	13,6	0,19	A	41,21	45,84
2	36,4	313,2	3,2	6	0,53	A	65,69	114,00
5	37,1	309,1	3,2	10	0,32	A	54,64	68,81
8	36,8	297,5	3,2	13,6	0,24	RE	45,53	48,30
26	36	361,6	4	6	0,67	A	57	130,18
29	35,8	397,7	4	10	0,40	A	61,01	85,43
32	36,1	381,8	4	13,6	0,29	RE	46,33	60,81

Sendo: Velocidade de alimentação do arame eletrodo ( $V_a$ ), Aprovado (A) e Reprovado (RE)

A Figura 5.21 apresenta a relação da energia imposta para a aplicação do chapisco com o rendimento de deposição. Verifica-se que o aumento da energia de aplicação do chapisco proporciona maiores valores de  $R_d$ , isto é, melhor é a aderência do metal depositado no friso da moenda. A maior energia imposta ocorre para  $V_c = 6$  m/min. Verifica-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que é a medida de ajustamento de um modelo estatístico linear é de 0,5678, ou seja com 56,78% de relação da energia imposta para aplicação de chapisco e do rendimento de deposição.

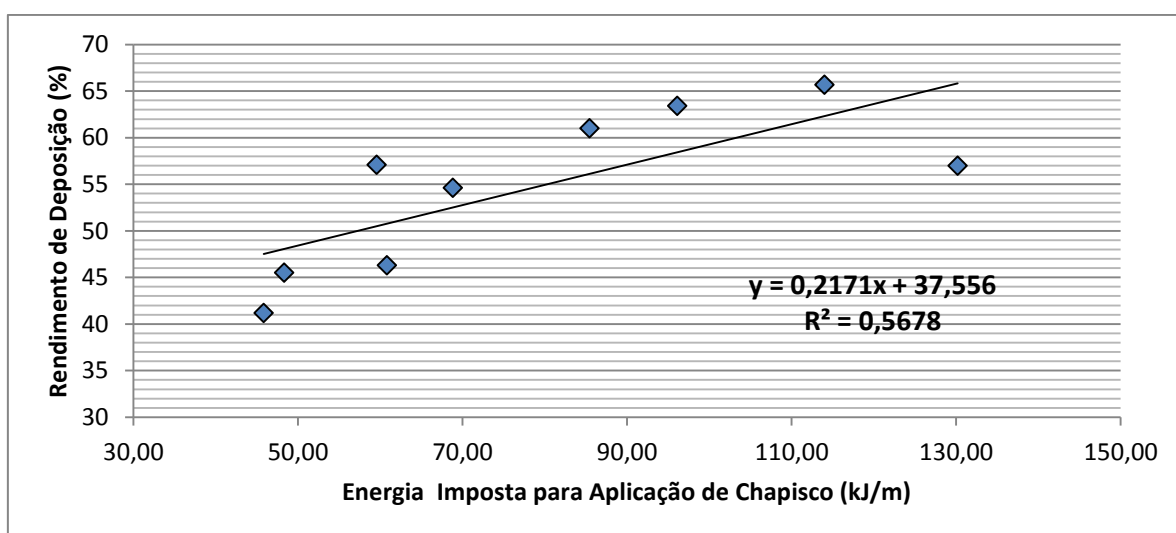


Figura 5.21 – Relação entre a energia imposta e o rendimento de deposição

A Figura 5.22 mostra a relação de  $V_a/V_c$ , onde verifica-se que a melhor condição está na região em que a relação fica acima de 0,6, mais especificamente para a condição de 6 m/min com  $I_d$  igual a 300 A, ou seja, uma velocidade de alimentação do arame eletrodo em 2,6 m/min e tensão de aplicação do chapisco em 36V. Verifica-se que o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), que é a medida de ajustamento de um modelo estatístico linear, é de 0,4722, ou seja, com 47,22%.

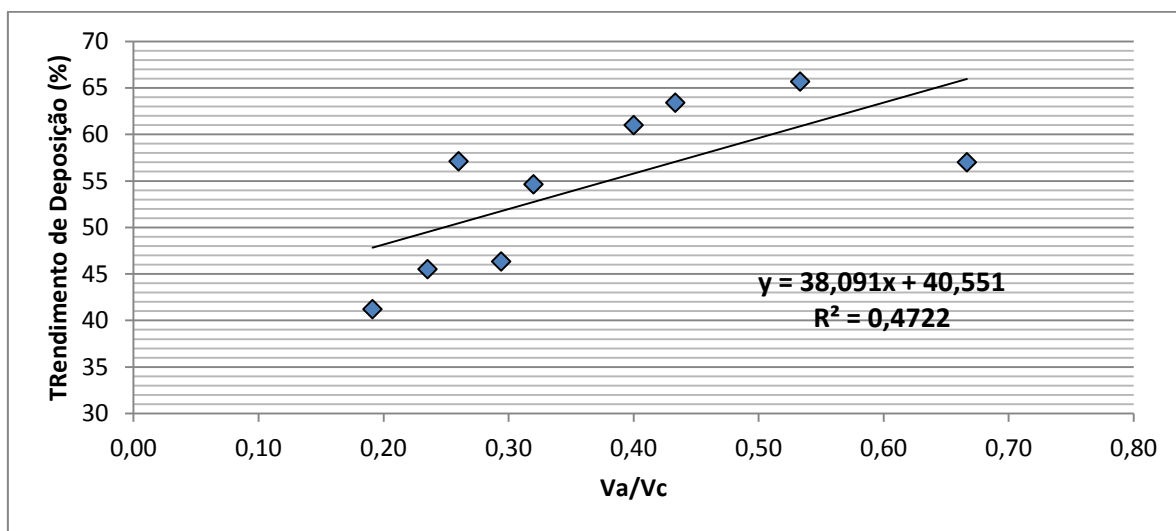


Figura 5.22 – Relação entre  $Va/Vc$  e o rendimento de deposição

Os resultados deste trabalho mostram que o aumento da corrente ( $I_d$ ), e, conseqüentemente, o aumento da velocidade de alimentação do arame eletrodo contribuíram para a diminuição do rendimento de deposição, a qual reduziu também a aprovação do chapisco aplicado, devido principalmente as dimensões das gotas aderidas ao friso da moenda, saindo do padrão definido em conjunto com os engenheiros da empresa parceira deste trabalho.

Os melhores resultados com base no  $R_d$  foi com  $V_c$  igual 6 m/min, independentemente da corrente desejada, isto é, independentemente da velocidade de alimentação do arame eletrodo.

Analisando em termos de valores médios do  $R_d$ , verifica-se que o melhor resultado foi com  $V_c$  de 6 m/min com corrente desejada de 300 A. É necessário fazer uma análise de custo com o objetivo de encontrar a melhor relação entre qualidade, rendimento de deposição e custo de fabricação, que será realizada nos comentários finais deste capítulo.

#### 5.4 Resultados com Variação do Ângulo e Velocidades de Chapisco.

Em uma nova proposta de análise, alterou-se o ângulo de chapisco (doravante  $A_c$ ) de 35 graus para 15 graus, apresentadas na Tab. 5.5. O ângulo de chapisco é o ângulo entre a tocha e o friso da moenda.

As condições de aplicações de chapisco mantidas constantes foram: DBCP (Distância do Bico de Contato a Peça) de 24 mm; sentido horário de aplicação do chapisco (corpo de prova); condição de aplicação com água; velocidade de alimentação do arame eletrodo = 3,2

m/min; tempo de realização do ensaio de 1 minuto. Foram realizados três ensaios de cada condição.

Tabela 5.5 – Resultados variando-se o ângulo e a velocidade de chapisco

<b>Amostra</b>	<b>Ud (V)</b>	<b>Id (A)</b>	<b>Vc (m/min)</b>	<b>Ac (Graus)</b>	<b>Al (g)</b>	<b>Resp (g)</b>	<b>Rd (%)</b>
34	31	300	6	15°	188	98,46	47,63
35	31	300	6	15°	188	92,97	50,55
36	31	300	6	15°	188	94,02	49,99
			<b>Média Rd 49,99</b>				
					<b>Desvio Padrão Rd 1,55</b>		
37	31	300	10	15°	188	96,78	48,52
38	31	300	10	15°	188	98,32	47,70
39	31	300	10	15°	188	88,90	52,71
			<b>Média Rd 48,52</b>				
					<b>Desvio Padrão Rd 2,69</b>		
40	31	300	13,6	15°	188	112,48	40,17
41	31	300	13,6	15°	188	88,75	52,79
42	31	300	13,6	15°	188	134,21	28,61
			<b>Média Rd 40,17</b>				
					<b>Desvio Padrão Rd 12,09</b>		

Onde: Ac = Ângulo de Chapisco

Aqui cabe ressaltar que houve inicialmente a intenção de variar o ângulo acima do praticado pelas empresas, pois acredita-se que quanto maior o ângulo, maior seria o valor do rendimento de deposição, mas durante a aplicação do chapisco no friso da camisa da moenda não houve a possibilidade de aumentar o valor deste ângulo, ou seja acima de 35°, pois a tocha tocava o friso imediatamente ao lado.

A Figura 5.23 apresenta os resultados obtidos com os ensaios realizados com a variação da Vc (6, 10 e 13,6 m/min) e alteração do Ac (15° e 35°). Nota-se que houve uma redução no Rd quando se alterou o valor do Ac, não sendo esta (ângulo de 15°) a condição adequada para a aplicação de chapisco. O ângulo menor, próximo a lateral do friso, aumenta a quantidade de respingo, isto é a gota sai na lateral do friso e não adere ao mesmo.

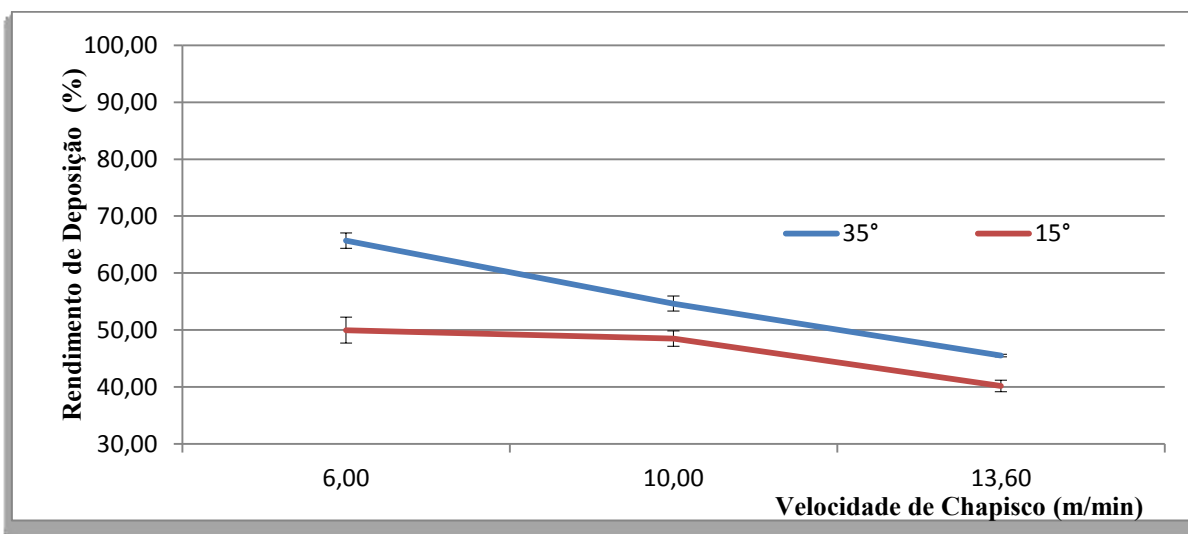


Figura 5.23 – Resultados obtidos com a alteração da velocidade de chapisco e o ângulo de chapisco

A Figura 5.24 apresenta uma comparação visual das variações dos parâmetros ( $V_c$  e  $\theta$ ). Nota-se que existe uma semelhança muito grande com a Fig. 5.5, ensaiada para as mesmas condições de aplicação de chapisco.

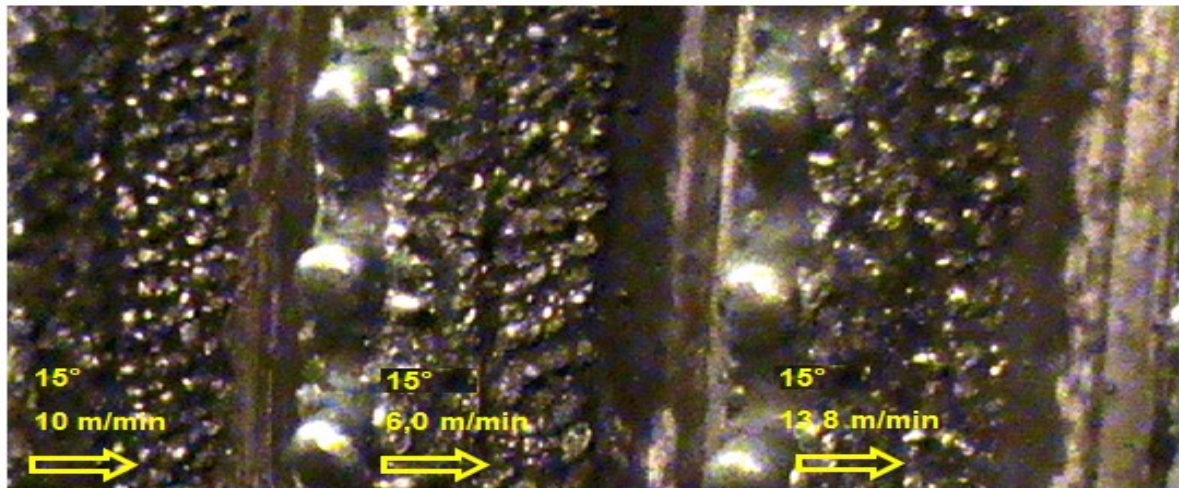


Figura 5.24 - Comparativo entre as aparências dos resultados variando-se o ângulo de chapisco

As amostras obtidas com estes ensaios foram comparadas com o padrão estabelecido neste estudo, e sua análise é apresentada na Fig. 5.25. Para as condições de velocidade de 6 e 10 m/min as amostras foram aprovadas e para a condição de 13,6 m/min foi reprovada.



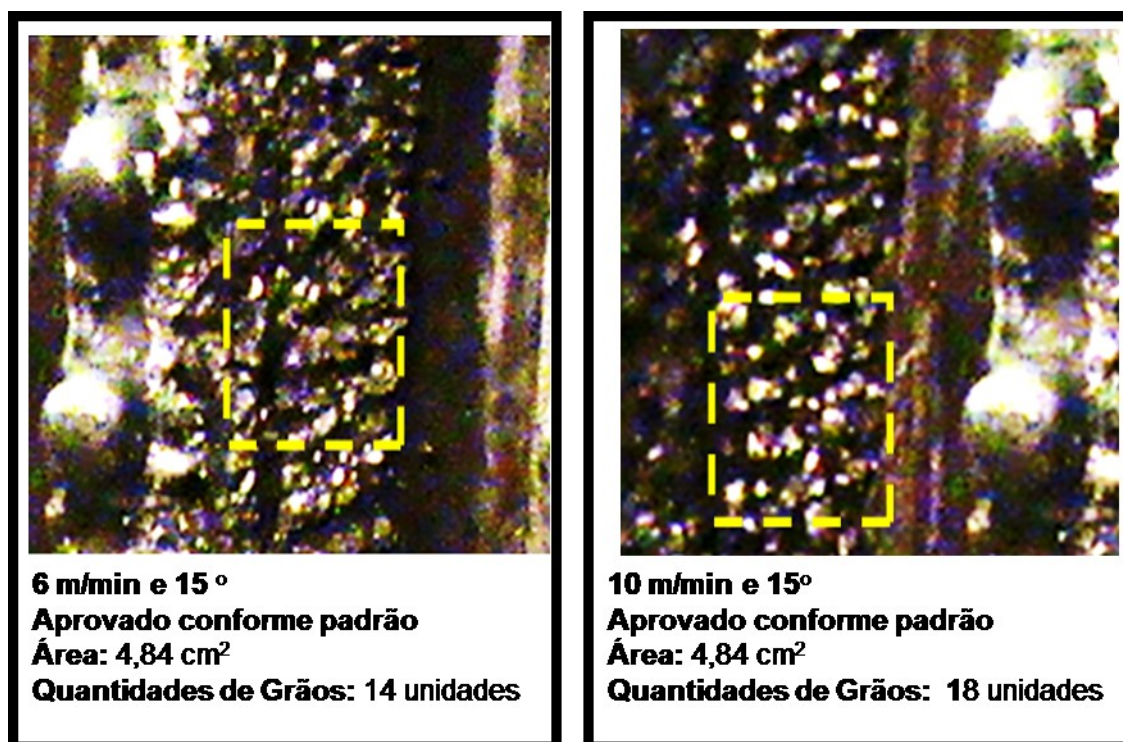


Figura 5.25 – Aspecto do chapisco obtido com o Ac de 15° e variações de Vc

Em relação ao padrão de qualidade obtido em comparação ao padrão estabelecido para este estudo, não houve diferença significativa entre as amostras testadas com 15 e 35°, ou seja, aprovado para 6 e 10 m/min e reprovado para 13,6 m/min.

### 5.5 Resultados com a moenda girando no sentido anti-horário e com variação na Velocidades de Chapisco.

Foram realizados ensaios com a moenda girando no sentido anti-horário, contrário ao realizado na empresa e no presente estudo, variou-se também a Vc mantendo-se a Id em 300 A. A Tabela 5.6 apresenta os valores impostos bem como o resultado do Rd. As condições de chapisco que se mantiveram fixas para as 9 amostras foram DBCP = 24 mm, velocidade de alimentação = 3,2 m/min.; e com aplicação de água.

Tabela 5.6 – Resultados obtidos variando-se o sentido e a velocidade de chapisco

Amostra	Ud (V)	Id (A)	Vc (m/min)	Sentido	Al (g)	Resp (g)	Rd (%)
43	31	300	6	Anti-horário	188	92,44	50,83
44	31	300	6	Anti-horário	188	85,69	54,42
45	31	300	6	Anti-horário	188	89,62	52,33
<b>Média de Rd</b>			<b>52,33</b>		<b>Desvio Padrão</b>	<b>Rd</b>	<b>1,80</b>
46	31	300	10	Anti-horário	188	98,95	47,37
47	31	300	10	Anti-horário	188	93,86	50,07
48	31	300	10	Anti-horário	188	93,74	50,14
<b>Média de Rd</b>			<b>50,07</b>		<b>Desvio Padrão</b>	<b>Rd</b>	<b>1,58</b>
49	31	300	13,6	Anti-horário	188	100,38	46,61
50	31	300	13,6	Anti-horário	188	98,96	47,36
51	31	300	13,6	Anti-horário	188	98,48	47,62
<b>Média de Rd</b>			<b>47,36</b>		<b>Desvio Padrão de Rd</b>		<b>0,5</b>

A Figura 5.26 mostra os resultados dos ensaios realizados para o sentido de aplicação de chapisco horário e para o anti-horário e para a variação da Vc (6, 10 e 13,6 m/min). Nota-se que houve uma redução no Rd com o aumento da velocidade de aplicação do chapisco, independentemente do sentido de rotação da moenda. Em comparação com o sentido horário o rendimento de deposição foi menor para as Vc de 6 e 10 m/min, e praticamente igual para Vc de 13,6 m/min.

O aumento da Vc em conjunto com a alteração do sentido de chapisco apresentou as seguintes observações estatísticas:

a) Amostras 34, 35 e 36 e amostras 1, 2 e 3 apresentaram um nível de significância de  $p = 0,0068$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.

b) Amostras 34, 35 e 36 e amostras 4, 5 e 6 apresentaram um nível de significância de  $p = 0,0151$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.

c) Amostras 37, 38 e 39 e as amostras 7, 8 e 9 apresentaram um nível de significância de  $p = 0,0280$ , caracterizando-se como estatisticamente diferentes, com confiabilidade de 95%.

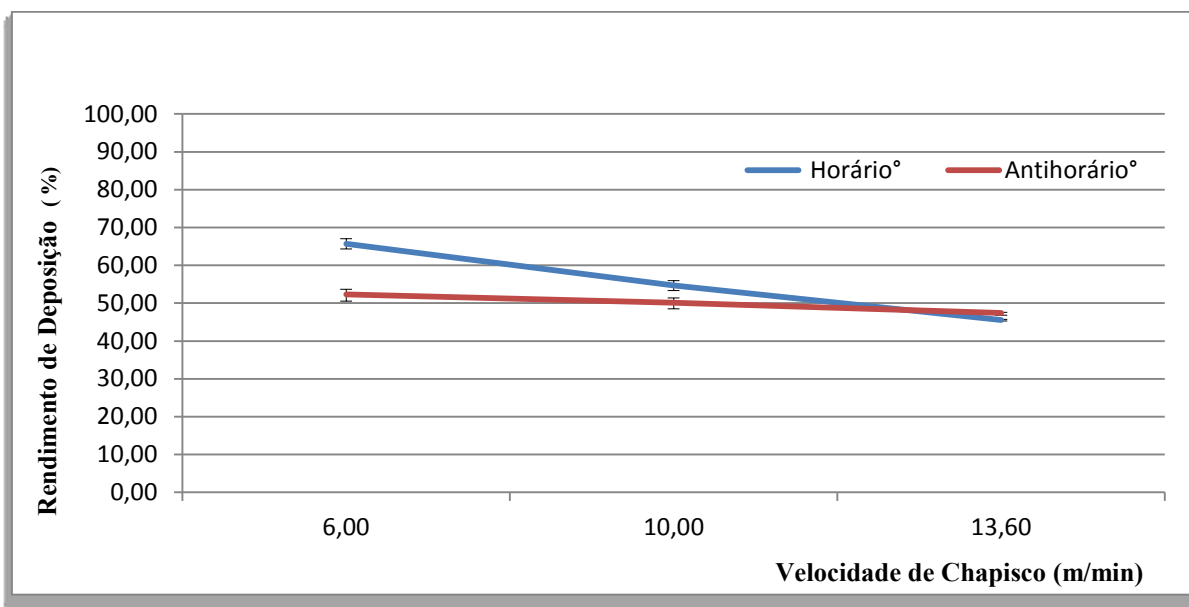


Figura 5.26 – Resultados Obtidos com a Alteração da Velocidade de Chapisco e o Sentido de aplicação do Chapisco

Na Figura 5.27, pode-se visualizar as aparências do chapisco, obtidas a partir da variação do sentido de chapisco, para a velocidade de chapisco de 10 m/min, onde se percebe que não houve grande alteração na aparência, sendo que o mesmo ocorreu para as outras velocidades de chapisco.

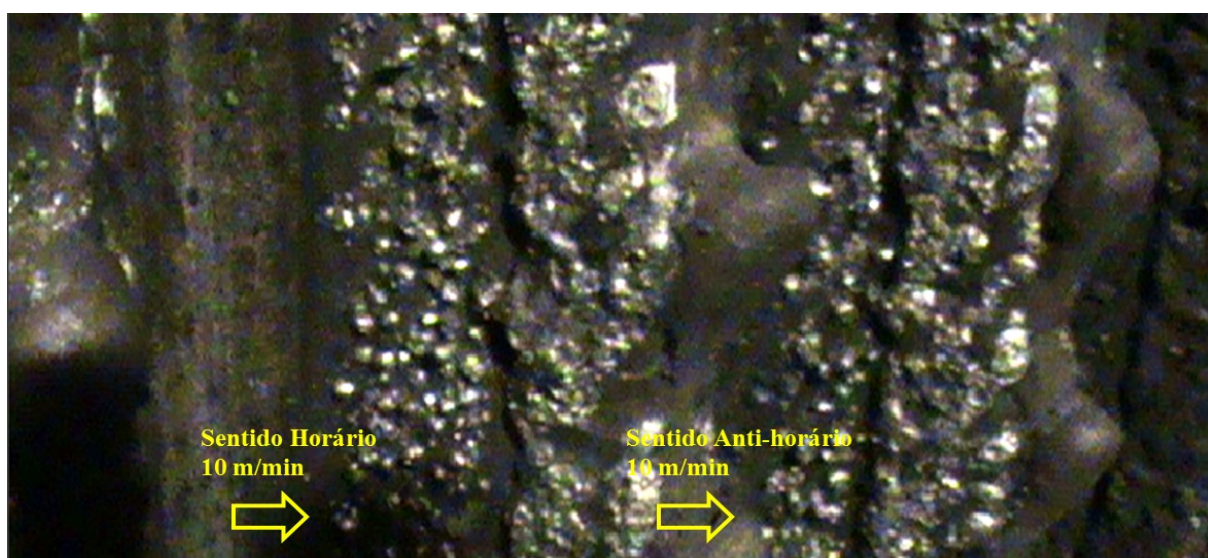


Figura 5.27 - Comparativo entre as aparências dos resultados de aplicação variando-se o sentido de chapisco para velocidade de chapisco de 10 m/min

A Figura 5.28, apresenta a análise das amostras obtidas em comparação ao padrão estabelecido neste estudo. Assim, como nos casos anteriores, a condição de  $V_c = 13,6$  m/min foi também considerada inadequada para a qualidade do chapisco.

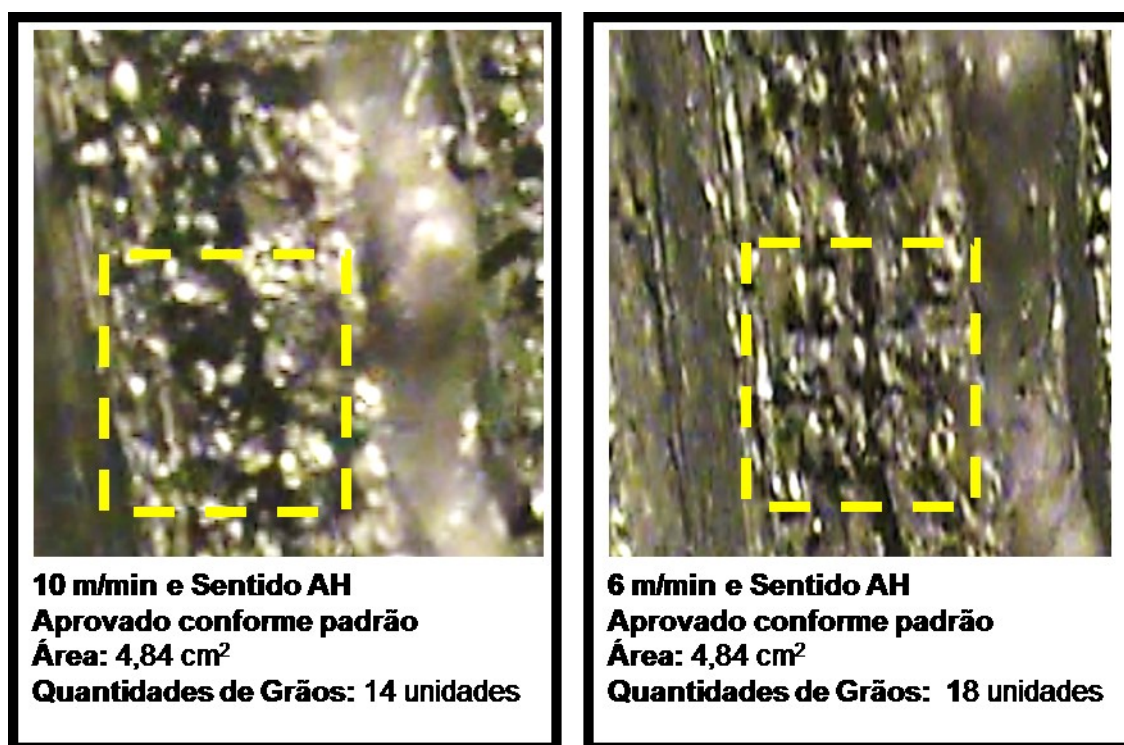


Figura 5.28 – Aspecto do chapisco obtido com o Sentido Anti-horário e  $V_c$  (10 e 6 m/min)

Em relação à qualidade, pode-se notar que Fig. 5.28, que os grãos do chapisco ficaram muito semelhantes comparada com a qualidade obtida quando se ensaiou em rotação horária, uma vez que a rotação foi invertida. Foram aprovadas para  $V_c$  de 6 e 10 m/min e reprovadas para 13,6 m/min quando comparadas no padrão estabelecido neste estudo.

A mudança do sentido de rotação de horário para anti-horário contribuiu para o aumento da perda de matéria e em consequência da redução da eficiência de deposição. Esse fato pode ser explicado pela aplicação de água que tende a homogeneizar as condições de chapisco tanto quando se “puxa” o arame em direção a poça ou quando se “empurra”.

## 5.6 Considerações Finais

Após as análises feitas, pode-se afirmar que a redução da Vc afeta positivamente o Rd, onde este foi notado em todos os tópicos deste capítulo, porém o primeiro sentimento é que iria se ganhar na quantidade de material depositado, porém perderia na produção, ou seja, tempos maiores para a realização da tarefa de chapiscar. Assim será analisado uma comparação de custo, levando em conta os custos relativos a mão de obra do operador de máquina (salário médio de R\$ 2.500, ou seja um custo de R\$ 23,00/hora). Não serão considerados os valores referentes aos custos de máquinas e equipamentos, pois análise apenas será possível realizar com os dados de tempos de máquina e tempos, valores de depreciação e outros valores específicos a particularidades de cada empresa.

Considerando que houve um ganho de rendimento deposição de 11,05% (ou seja 65,69% obtidos neste estudo comparado aos 54,64% praticados pela empresa), seria prudente afirmar que poderia reduzir a quantidade de passes para se aplicar a mesma quantidade de material, assim será considerado um fator de correção (FP) de 11% no valor final.

Para os cálculos de custos relativos a aplicação de uma moenda com dimensões 1100 mm de diâmetro por 2200 mm de comprimento, contendo 57 frisos, são necessários 5 horas, como tempo de execução (TE) para aplicação do revestimento, aplicando 10 a 12 passes por friso, com velocidade de chapisco de 10 m/min e 8 horas para velocidade de 6 m/min. Os custos de matéria prima (MP) serão apresentados conforme o rendimento, ou seja 30 quilogramas para aplicação com 10 m/min (Rd = 54,64) e 26,68 Kg para 6 m/min (Rd = 65,69). E por fim será considerado o valor de R\$ 15,00 por quilo de arame, como custo de matéria prima (MP). A Tabela 5.7, apresenta estes custos referentes a um rolo de moenda.

Tabela 5.7 – Custo de aplicação de chapisco para um rolo de moenda

VC (m/min)	TE (horas)	Custo M.O. (R\$)	Rd (%)	MP (Kg)	FP (R\$)	Custo MP (R\$)	Custo Final (R\$)	Custo Final com FP (R\$)
10	5	115,00	54,64	30	0	900,00	785,00	785,00
6	8	161,00	65,69	26,68	88,00	800,04	639,40	559,40
<b>Economia por Rolo de Moenda de R\$ 225,60 - (Redução de 28,78%)</b>								

Considerando que a Simisa S.A. realiza este trabalho em cerca de 1000 moendas por ano, o custo reduzido seria de R\$ 225.600 reais por ano. Considerando também que são

realizadas aproximadamente 4.000 rolos de moenda no Brasil esta economia alcançaria o valor R\$ 902.400,00 por ano.

## **CAPITULO VI**

### **CONCLUSÕES**

A realização deste trabalho permitiu chegar às seguintes conclusões listadas a seguir:

- a) Em relação à redução de custo, apresentado de R\$ 902.400,00 por ano, refere-se ao custo de aplicação de chapisco para a preparação das moendas para entrarem em operação. Se considerar os valor 6 g de material de adição aplicado para cada tonelada de cana, ou seja, em uma ano de safra de 580 milhões de toneladas de cana moídas são aplicados aproximadamente 3,5 milhões kg de material de adição, ou seja R\$ 50 milhões de reais. Uma redução de 28,78% significaria 14,4 milhões por ano.
- b) A aplicação de chapisco na condição seca proporcionou maiores rendimentos de deposição, porém não satisfaz as condições de qualidade uma vez que não se obteve a granulação esperada necessária para as melhores eficiência da operação da moendas.
- c) A redução da velocidade de chapisco, comparada à aplicada pelas empresas que realizam este serviço, mostrou um ganho significativo no rendimento de deposição, e em consequência nos custos de aplicação, sem comprometer a qualidade do chapisco.
- d) O emprego de maiores correntes de soldagem mostrou que a análise deste parâmetros por si só não permite conclusões significativas. Assim analisando a energia imposta para a aplicação do chapisco mostrou que tanto maior a energia aplicada melhor os valores de rendimentos de deposição.



e) A redução da tensão de aplicação de chapisco (menor comprimento de arco) aumentou o rendimento de deposição, quando se aplicou na condição a seca, mantendo a qualidade desejada, isto é, melhor foi à aderência da gota transferida pelo arco a moenda. Na condição com água a foi necessário o aumento da tensão para obter o rendimento necessário e o aumento do rendimento de deposição.

f) A técnica aplicada para obter o rendimento de deposição, baseada na coleta de respingos, apresentou valores superiores às técnica de pesagem do corpo de prova, pois a técnica de coleta de respingo não leva em conta a vaporização dos materiais contido no fluxo do arame eletrodo.

g) A alteração do ângulo e sentido de aplicação do chapisco não apresentou variações significativas no rendimento de deposição como na qualidade do chapisco. Melhores resultados e conclusões poderão ser obtidas com melhorias nas técnicas de realização dos ensaios, principalmente no laboratório.

h) A microestrutura obtida com o arame eletrodo utilizado apresentou uma estrutura dendrítica de austenica com carbonetos de cromo.

## **CAPÍTULO VII**

### **PROPOSTAS PARA TRABALHOS POSTERIORES**

Durante os experimentos surgiram algumas ideias com o objetivo de melhorar os resultados para aplicação de chapisco, como estas não faziam parte do planejamento inicial deste trabalho, ficarão como sugestões para trabalhos futuros, dentre as quais:

a) Atualmente as empresas que realizam este serviço realizam a aplicação de chapisco na posição vertical, diferentemente daquela sugerida pelo fabricante, e durante o experimento notou-se que esta situação dificulta a aderência do material de adição ao metal base, diminuindo a eficiência de deposição, e esta situação ainda é prejudicada ainda mais, quando se aplica água. Assim o estudo com a alteração para posição plana bem como o desenvolvimento de um dispositivo de soldagem para a realização desta aplicação de revestimento, pode apresentar bons resultados.

b) Notou-se que é possível conseguir a qualidade esperada para a aplicação a seco, uma vez que este apresenta melhores valores de rendimento de deposição. Mais ensaios com novos parâmetros poderão alcançar este objetivo, pois alguns poucos experimentos realizados, sem aprofundar no tema, apresentaram uma tendência de sucesso nesta proposta, mas como não fazia parte do plano inicial não foram estudadas a fundo.

c) Realizar filmagem em alta velocidade da transferência metálica com o objetivo de entender o que ocorre em alto e baixo comprimento de arco.

d) Com o objetivo de melhorar o rendimento de deposição, ensaiar com novos parâmetros de aplicação de chapisco alterando a posição da tocha, velocidade de alimentação do arame eletrodo, velocidade de aplicação de chapisco, bem como realizar a oscilação na tocha, podem trazer sucesso para este objetivo.

## CAPÍTULO VIII

### Referências Bibliográficas

BÁLSAMO, P.S.S.; SCOTTI, A.; DE MELLO, J.D.B., Interpretación de la Microestrutura de Recargues Duros Depositados por Soldadura Utilizando la Superficie de Líquidos de Diagramas Fe-Cr-C. **Rev. Soldadura**, 25 (4), CENIN, Madrid, p. 199-207, 1995.

BOTTREL, C.C. **Materiais Metálicos para Engenharia**. Belo Horizonte, MG. Fundação Cristiano Ottoni, 405p. 1992

BRANCO FILHO, G.; **Indicadores e Índices de Manutenção** – Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 147p. 2006

BRUMAZI. Disponível em: <http://www.brumazi.com.br/produtos/sistema-de-extracao-do-caldo-moenda-8/>. Acesso em: 01 de Junho 2013

CASTRO, S., B. , ANDRADE, S.A.; **Tecnologia do Açúcar**, Edição Universitária da UFPE, 382.p, 2006

CONDE, R.H.; Recubrimientos resistentes al desgaste. **Boletín Técnico Conarco**, n. 85, p. 2-20, dec. 1986.

GENTIL, V.; **Corrosão**. LTC, 6ª ed., 2003.

DEDINI S.A . **Catálogo de Produtos – Moenda** 10.p, 2013.

EGGLESTON, G; LEGENDRE, B; RICHARD, C. Effect of harvest method and storage time on sugarcane deterioration I: cane quality changes. **International Sugar Journal**, v.103, n.1232, p. 331-338, 2001.

EMPRAL Empral Engenharia Industrial. Disponível em: <http://www.dsempral.com.br/processo+extracao+moenda.html>. Acessado em: 01 de janeiro de 2015.

EUTECTIC & CASTOLIN. Aplicações & Sistemas. **Catálogo Geral de Produtos**. Eutectic do Brasil Ltda. Disponível em: <http://www.eutectic.com.br/catalogos.html>. Acesso em: set. 2014.

FIGUEIREDO, I. A.; MACIEL, B.F.; MARQUES, M.O.; **A qualidade da Cana de Açúcar como Matéria Prima**. Nucleus, Edição Especial, 2008.

FIVESGROUP, Disponível em: <http://www.fivesgroup.com/business-way/technologies-sectors.html>. Acesso em: junho. 2014.

GARSON, C. A. **Control of Harvester Base Cutter Height. Proceedings of Australian Society of Sugar Cane Technologists**. p.156-162. 1992.

HUGOT, E. **Handbook of Cane Sugar Engineering**. Third edition. Ed. Elsevier. New York, 1986.

KARDEC, A. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**. Rio de Janeiro, RG: Qualitymark: Abraman, 2002.

LIMA, A. C. **Estudo da aplicação de revestimento duro por soldagem com arames tubulares quanto à resistência ao desgaste de facas picadoras de cana-de-açúcar**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, MG, Brasil, 2000.

LIMA, A., FERRARSI, V. **Análise da Microestrutura e da Resistência ao Desgaste de Revestimento Duro Utilizado pela Indústria Sucroalcooleira**, Soldagem & Inspeção, SP, Vol. 14. 2009

GARCIA, D., FERRARSI, V. **Influência da Técnica de Soldagem e do Tipo de Metal de Adição na Resistência ao Desgaste do Revestimento Duro: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO**, 6, 2011, Caxias do Sul – RS.

MACEDO, I.C. **A Energia da Cana de Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana de açúcar no Brasil e sua sustentabilidade**. 2° ed. São Paulo, 242p, 2005

MARCUS, P. **Analytical Methods in Corrosion Science and Engineering**. Boca Raton, FL: CRC Press, 760 p. 2006.

MARQUES, P.V., LEITE, R. V. M. Estudo Comparativo da Resistência ao Desgaste Abrasivo do Revestimento de 3 Ligas Metálicas Utilizadas na Indústria, Aplicadas por Soldagem com Arames Tubulares. **Soldagem e Inspeção**. vol.14 no.4 São Paulo Oct./Dec. 2009.

MME - Ministério de Minas e Energia, BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/publicacoes-e-indicadores/> . Acesso em: 01 de abril. 2013.

MONTEIRO NETO, A. Q. **Novo Ciclo da Cana. Estudo sobre a competitividade do Sistema Agroindustrial da Cana de açúcar e Prospecção de Novos Empreendimentos** Ed IEL. Brasília, 344p, 2005

NICROSOL. **Composição de Arames Tubulares para Aplicação em Moendas. Indústria e Comércio de Soldas Especiais Ltda**, 2014

PASCOALI, S.P.; ALARCON, O.; **Introdução ao Desgaste Abrasivo** – Florianópolis. Edição Universitária da UFSC, 26.p, 2006.

PAYNE, J.H.; **Operações Unitárias na Produção de Açúcar de Cana**. São Paulo: Editora Nobel– STAB, 1989. 280p.

SANTOS, S.A. **Revestimentos Automatizados em Camisas de Moendas**. Boletim UTP - Boehler Thyssen, 2001

SIQUEIRA, I.P.. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação** – Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005, 408p.

SLACK, N, CHAMBERS, S., JOHNSTON, R.: **Administração de Produção**, 3° Ed. São Paulo: Atlas, 2009, 704p.

SOBRAL, F; PECL, A. **Administração teoria e prática no contexto brasileiro**. 2. ed. Pearson São Paulo, SP, 2013.

THORPE, W. R. CHICO, B. The Fe-Rich Corner of the Metastable C-Cr-Fe Liquidus Surface, **Metallurgical Transactions**, 14A, p.1541-1549, September 1985.

UNICA, União da Indústria da Cana de Açúcar. Disponível em: <http://www.unica.com.br/documentos/>. Acesso em: 01 de junho 2014.

UTP - Bohler Thyssen, Disponível em: <http://www.bohlersoldabrasil.com.br/pesquisa/>.  
Acessado em: 01 de julho 2014

VECCHIA, R.: **O Meio Ambiente e as Energias Renováveis: instrumento de liderança visionária para a sociedade sustentável** – Barueri, SP: Manole: Minha Editora, 333p. 2010

WAINER E., BRANDI S.D., Mello F.D.H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**, editora Edgard Blucher Ltda, 1992. 244p.

WERKEMA, M.C.C. **As Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processo**. Belo Horizonte, MG: Fundação Cristiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1995.