

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA

EDUARDO FERRACIN MOREIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PULSO NA
MICROESTRUTURA DE REVESTIMENTO DURO PELO PROCESSO
STAG-PÓ(GTAW) UTILIZANDO A LIGA STELLITE 6**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

EDUARDO FERRACIN MOREIRA

**ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE PULSO NA
MICROESTRUTURA DE REVESTIMENTO DURO PELO PROCESSO
STAG-PÓ(GTAW) UTILIZANDO A LIGA STELLITE 6**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Moselli

CORNÉLIO PROCÓPIO

2014

RESUMO

O processo de revestimento duro é de grande importância para o setor industrial, e com o surgimento de novas formas para realiza-lo há uma grande séries de questões de como o revestimento se comportará se houver variação em alguns de seus parâmetros. Este trabalho visa realizar análises buscando determinar a influência dos parâmetros de pulso na microestrutura, a partir de um revestimento realizado com a nova metodologia de soldagem STAG-P (Soldagem ao Arco Tungstênio com Atmosfera Gasosa com deposição em Pó). Para o revestimento foi utilizado a liga à base de cobalto Stellite 6 WM, na forma de pó sobre o substrato aço SAE 1020. O revestimento foi realizado com corrente pulsada onde as variações dos parâmetros de pulso se deram nos tempos de pico e de base, o que gerou três amostras com parâmetros distintos. Foram realizados análises metalográficas qualitativas e quantitativas, também foram realizado ensaio MEV, ensaio de dureza e análise da diluição do material. Os resultados demonstram que a amostra com o maior tempo de base e menor tempo de pico obteve os melhores conjuntos de resultados, sendo eles: uma granulometria mais refinada, dureza média de 65 HRC e diluição de 4,18%. Além disto o espectro do ensaio MEV sugere a formação de carbonetos na região interdendritica da microestrutura.

Palavras chave: Revestimento duro, STAG-P, Diluição, Parâmetros de pulso

ABSTRACT

The hard facing process have a high importance for the manufacturing sector and with a new releases of how to make it there is lot of questions about how the hard facing will be if we change the pulse parameters. This work search to make a microstructural analysis aiming to identify the influence of the pulse parameters in microstructure using the new method GTAW-P (Gas Tungsten Arc Welding Powder). A cobalt base alloy was used for make the hard facing, and this alloy is a powder Stellite 6 WM manufacturer by Deloro Stellite with a grain size between a 45 and 180 microns and hardness 41.3 HRC, the substrate used was SAE 1020 steel. The hardfacing was done with pulse current and the pulse parameters variations were found in peak and base times, which resulted in the three samples with different parameters. Qualitative and quantitative metallographic analyzes were performed microanalysis, HRC hardness testing and analysis of the dilution of the material were also performed. The results show that the sample with the longer base obtained the best result set, namely the average grain size of approximately 100 microns, an average hardness of 65 HRC and dilution of 4.18%. Besides the spectrum of regions A and B suggests the formation of carbonates in the region B, this region contains the highest percentage of chromium, cobalt, iron and carbon. In addition, the spectrum of the test SEM suggests the formation of carbides in the interdendritic region of the microstructure.

Key words: Hardfacing, GTAW-P, Dilution, Pulse parameters

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Soldagem GTAW	15
Figura 2 - Bico direcionador	17
Figura 3 - Adaptador e bico desenvolvidos	17
Figura 4 - Equipamento pronto para o início da deposição	21
Figura 5 - Trajeto do equipamento sob o substrato	21
Figura 6 - Esquematização do ensaio de dureza	24
Figura 7 - Áreas para a determinação da diluição	25
Figura 8 - a) Depósito na amostra R1, b) Depósito na amostra R2 e c) Depósito na amostra R3.....	26
Figura 9 - Região central e inferior do revestimento, obtida através de um microscópio óptico. Amostra R1	27
Figura 10 - Região central do revestimento obtida através do MEV. Amostra R1	27
Figura 11 - Região central e inferior do revestimento obtida através de um microscópio óptico. Amostra R2	28
Figura 12 - Região central e inferior do revestimento obtida através do MEV. Amostra R2	28
Figura 13 - Região central e inferior do revestimento obtida através de um microscópio óptico. Amostra R3	28
Figura 14 - Região central e inferior do revestimento obtida através do MEV. Amostra R3	29
Figura 15 - Regiões de microanálise	29
Figura 16 - Espectro para a região A	30
Figura 17 - Espectro da região B	30
Figura 18 - a) Diluição da amostra R1, b) Diluição da amostra R2 e c) Diluição da amostra R3.....	32
Figura 19 - Relação de dureza entre as amostras	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros de pulso para o experimento	22
Tabela 2 - Relação dos principais elementos que constituem a região A	30
Tabela 3 - Relação dos principais elementos que constituem a região B	30
Tabela 4 - Determinação do tamanho de grão médio	31
Tabela 5 - Cálculo da diluição para as amostras R1, R2 e R3	33
Tabela 6 - Apontamento das durezas nos perfis seccionados	33

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	OBJETIVO GERAL	10
1.1.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	10
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1	REVESTIMENTO DURO	11
2.2	LIGAS DE REVESTIMENTO DURO	12
2.2.1	LIGAS A BASE DE COBALTO	13
2.3	CARBONETOS	14
2.4	PROCESSO DE SOLDAGEM AO ARCO TUNGSTÊNIO COM ATMOSFERA GASOSA (SATG)	15
2.5	PROCESSO DE SOLDAGEM AO ARCO TUNGSTÊNIO COM ATMOSFERA GASOSA COM DEPOSIÇÃO EM PÓ (SATG-P)	16
2.6	PARÂMETROS DE PULSO	18
3	MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1	PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO	20
3.2	MATERIAL DE ADIÇÃO	20
3.3	EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM	20
3.4	DEPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS	21
3.5	PARÂMETROS DE SOLDAGEM	22
3.6	PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS	22
3.7	PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA	23
3.7.1	DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE GRÃO	23
3.8	PERFIS DE DUREZA	24
3.9	DILUIÇÃO DO REVESTIMENTO COM O SUBSTRATO	25
4	RESULTADOS	26
4.1	REALIZAÇÃO DA DEPOSIÇÃO	26
4.2	REALIZAÇÃO DA METALOGRAFIA	27
4.2.1	MICROANÁLISE	29

4.3 TAMANHO DE GRÃO	31
4.4 DILUIÇÃO.....	31
4.5 ENSAIO DE DUREZA HRC.....	33
5 ANÁLISES E DISCUSSÕES.....	35
6 CONCLUSÃO.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a empresa SIMISA (2014) o início da primeira guerra gerou a necessidade de investir na tecnologia, e foi então que a necessidade de estudar e desenvolver processos de soldagem mais adequados surgiu. Devido ao crescimento tecnológico viu-se a necessidade de alterar as propriedades mecânicas dos materiais utilizados, tanto para melhorar a fabricação das peças, quanto a redução do desgaste. Segundo a ESAB (2014) uma das alternativas para a redução do desgaste foi o desenvolvimento dos processos de revestimento duro.

Baptista (2012) diz que o revestimentos duro tem por finalidade realizar a proteção da superfície de um equipamento ou peça mecânica o qual esteja sujeito a condições severas de operação. O processo consiste em depositar sobre a superfície desejada, ligas metálicas com propriedades mecânicas diferenciadas das da superfície em questão. Tais ligas devem proporcionar resistência para o equipamento, afim de torná-lo mais resistente as condições de trabalho.

A deposição da liga metálica é realizada através dos métodos de soldagem por arco elétrico segundo MONDENESI (2012). O processo que utiliza eletrodo revestido, juntamente com o os processos que necessitam de um gás, inerte ou ativo, são os principais processos utilizados para a realização do revestimento duro.

Visto que o processo *Tungstênio com Atmosfera Gasosa* (STAG), também conhecido como *Tungsten Inert Gás* (TIG), apenas realiza deposição da liga por meio de varetas ou arames, Moselli (2013) visando evoluir o processo desenvolveu um bico de soldagem adaptável para realizar a deposição da liga de revestimento através da utilização do material em forma de pó, tal processo é denominado pelo autor como STAG-PÓ (Soldagem ao arco tungstênio com atmosfera gasosa-com deposição de pó)

Com o surgimento desta nova tecnologia gerou-se a necessidade de novos estudos, visando buscar um conhecimento mais aprofundado sobre o método. Portanto através desta justificativa, este trabalho realizará uma análise da influência dos parâmetros de pulsos na microestrutura de um material revestido pelo processo STAG- PÓ utilizando a liga STELLITE 6.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 OBJETIVO GERAL

Atualmente, para obtenção de revestimentos duros, pelo processo de soldagem SATG, são utilizados materiais de deposição em forma de arame ou vareta, os quais proporcionam revestimentos com alta taxa de diluição, e uma taxa de deposição relativamente baixa se comparada à outros processos. Tais fatores tornam o processo SATG pouco atraente para deposição de revestimento duro de qualidade.

Este trabalho visa realizar uma análise da influência dos parâmetros de pulso na microestrutura de revestimento duro utilizando o processo recém desenvolvido STAG-PÓ, utilizando a liga STELLITE 6.

1.1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Verificar a influência dos parâmetros de pulso nas propriedades mecânicas do revestimento, bem como sua influência na diluição do material base.

Através das análises realizadas sob os parâmetros de pulsos o trabalho pretende ainda, verificar a formação de carbonetos na microestrutura do material, após a deposição da liga.

Comparar os resultados obtidos com os da deposição em corrente contínua utilizada em outro trabalho MOSELLI (2013).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 REVESTIMENTO DURO

O revestimento por soldagem é uma técnica utilizada para proteção superficial das partes de um equipamento sujeito a condições severas de operação. O método consiste em depositar sobre o substrato materiais com propriedades desejáveis, ou seja, materiais resistentes às solicitações a que o material estará sujeito. Segundo BAPTISTA (2012), o processo é subdividido da seguinte forma:

- *Endurecimento superficial:* Se dá quando uma liga é homogeneamente depositada por soldagem sobre a superfície de um aço baixo ou médio carbono a fim de aumentar sua dureza e resistência ao desgaste sem provocar perda significativa de tenacidade ou ductilidade no substrato. É aplicado para reduzir desgaste, abrasão, impacto, erosão ou cavitação;
- *Revestimento de recuperação:* Trata da adição de metal por soldagem a fim de restaurar as dimensões originais do componente. Nesse caso a resistência da solda é o pré-requisito mais importante do projeto;
- *Revestimento de aços inoxidáveis:* Consiste na aplicação, através de soldagem, de um metal resistente à corrosão sobre outro metal cuja resistência à corrosão é inferior ou não foi considerada no projeto;
- *Amanteigamento:* Método de revestimento que provê uma camada de solda de alta ductilidade antes da soldagem propriamente dita;

Segundo Baptista e Nascimento (2012) durante a soldagem, o material depositado é fundido, juntamente com o material base, ocorrendo, portanto, alguma diluição deste último no material de adição e produzindo a camada do revestimento, com altura controlada pela taxa de deposição. Considera-se um bom revestimento, quando a diluição do substrato é mínima, ou seja, apenas o suficiente para produzir a ligação metalúrgica, entre o revestimento e o substrato, mantendo assim, as propriedades de resistência ao desgaste da liga depositada.

2.2 LIGAS DE REVESTIMENTO DURO

Baptista (2012) diz que há uma grande variedade de materiais que podem ser aplicados como revestimentos, entre os mais importantes podemos destacar as superligas a base de níquel e a base de cobalto. O quadro 1 apresenta uma relação entre as condições de serviço e a liga recomendada para o revestimento duro.

Condições de serviço	Materiais para revestimento duro
Escorregamento metal-metal; altas tensões de contato	Stellite 1, ligas Tribaloy
Escorregamento metal-metal; baixas	Aços de baixa liga para revestimento duro
Escorregamento metal-metal combinado com corrosão e oxidação	Ligas à base de cobalto ou à base de níquel, dependendo da agressividade do ambiente
Abrasão sob Baixa tensão; erosão por colisão de partículas com baixo ângulo	Ferros fundidos de alta liga
Abrasão severa sob baixa tensão, retenção do gume	Materiais com altos teores de carbonetos
Erosão por cavitação e por colisão	Ligas à base de cobalto
Choques mecânicos intensos	Aços-manganês de alta liga
Choques mecânicos intensos combinados com corrosão ou oxidação	Stellite 21, Stellite 6
Abrasão por sulcamento	Aços-manganês austeníticos, Stellite 21, Stellite 6, Tribaloy T-400, Tribaloy T-800
Estabilidade térmica e/ou resistência à fluência à altas temperaturas	Ligas à base de cobalto, ligas à base de níquel com carbonetos

Quadro 1 - Condições de serviço e revestimento recomendado

Fonte: BAPTISTA(2012)

2.2.1 LIGAS A BASE DE COBALTO

De acordo com o Portal brasileiro de soldagem (INFOSOLDA) as ligas a base de cobalto se destacam por sua variabilidade, na aplicação em revestimento duro, uma vez que, apresentam bons resultados referente à alta resistência a abrasão, calor e corrosão.

Dentre as ligas à base de cobalto destaca-se a liga Stellite 6, como é conhecida comercialmente e será a liga utilizada neste trabalho.

De acordo com informações do fabricante ESTRELA DOS METAIS (2014) os elementos Cobalto-Cromo-Tungstênio-Carbono e Cobalto-Cromo-Molibdênio-Carbono são os elementos predominantes da família Stellite, que possui cerca de 60 tipos de ligas quaternárias.

Moselli (2013) diz que a microestruturas dessas ligas apresentam um número variado de carbonetos, do tipo $M_{23}C_6$, M_7C_3 e M_6C . O quadro 2 apresenta a composição química e as propriedades mecânicas da liga Stellite 6.

Liga		Densidade: (g/cm ³)		Código Multialloy:				
Stellite 6		8,2		225				
Composição química								
Co%	Cr%	W%	Mo%	C%	Fe%	Ni%	Si%	Mn%
Bal	22,0-31,0	3,5-5,5	1,5 máx	0,9-1,4	3,0 máx	3,0 máx	1,5 máx	1,0 máx
Propriedades Mecânicas								
Na condição	Dureza(HC)	Limite de resistência a ruptura		Limite de resistência ao escoamento		Alongamento % [in]	Redução de área %	
		Mpa	Ksi	Mpa	Ksi			
-	40	896	130	541	78,5	1	-	

Quadro 2 - Especificação da liga de revestimento

Fonte: ESTRELA DOS METAIS (2014)

2.3 CARBONETOS

Feitosa (2011) e Modenesi, Marques, Santos (2012) ressaltam que carbonetos são sais binários contendo carbono e características inorgânicas. Quando expostos à pressão e temperatura há a reação com a água, surgindo então os óxidos metálicos e hidróxidos sendo eles os responsáveis pelo aparecimento dos carbonetos covalentes e os carbonetos iônicos.

Ainda segundo Modenesi, Marques, Santos (2012), os carbonetos iônicos, também denominados como carbonetos salinos, devido ao seu caráter iônico são compostos sólidos formados pelos elementos altamente positivos e o alumínio, elementos os quais realizam ligação iônica com o carbono. Um exemplo de carbeto iônico é o carbeto de cálcio.

Feitosa (2011) e Modenesi, Marques, Santos (2012) ainda afirmam que ao contrário dos carbonetos salinos, os carbonetos covalentes são originários da ligação covalente entre o carbono e elementos com eletronegatividade aproximada ao do próprio carbono. Um exemplo de carboneto covalente é o carboneto de tungstênio.

Frequentemente elementos são adicionados às ligas ferro carbono buscando a modificação de suas propriedades mecânicas. FEITOSA (2011) relata que caso o elemento de liga introduzido for mais eletronegativo, carbonetos diferentes da cementita podem ser formados. Estes podem influenciar o comportamento do aço, melhorando, por exemplo, a sua resistência mecânica a alta temperatura ou sua resistência à abrasão.

Feitosa (2011) diz que os elementos que contem maior afinidade com o carbono são o manganês, cromo, molibdênio, tungstênio, tântalo, vanádio, titânio e nióbio. Com exceção do manganês, que é capaz de se combinar na cementita, os demais elementos formadores de carboneto se dissolvem somente em pequena quantidade e tendem a formar outros tipos de carbonetos.

2.4 PROCESSO DE SOLDAGEM AO ARCO TUNGSTÊNIO COM ATMOSFERA GASOSA (SATG)

Segundo Moselli (2013) e Modenesi e Marques (2000) a Soldagem ao Arco Tungstênio com Atmosfera Gasosa (SATG) tem o seu aquecimento obtido por meio de um arco elétrico gerado com auxílio de um eletrodo não consumível de tungstênio (W) o qual não é consumível pelo processo. A proteção do eletrodo de tungstênio e da poça de fusão é realizada através de um gás ou mistura de gases inertes, geralmente são utilizados o argônio (Ar) e o hélio (He). Neste processo a utilização de um metal de deposição é opcional, dependendo da finalidade do processo. Os materiais de deposição são encontrados em forma de vareta ou por alimentação automática por arames. A figura 1 demonstra o processo.

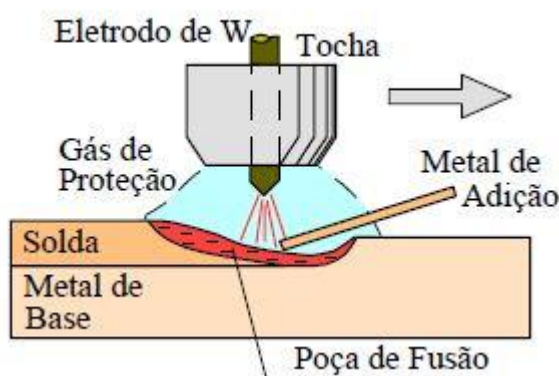


Figura 1 - Soldagem GTAW

Fonte: MONDENESI (2000)

Modenesi e Marques (2000) dizem que este processo é considerado um dos processos a arco com maior controle, conseguindo realizar cordões de elevada qualidade e acabamento, principalmente em juntas de baixa espessura. Sua utilização pode ser manual ou mecanizada.

Ainda segundo Modenesi E Marques (2000) o equipamento básico deste processo consiste em uma fonte de energia de corrente contínua ou alternada, tocha com eletrodo de tungstênio não consumível, fonte de gás protetora e um sistema de ignição de alta frequência. A utilização de um ignitor visa dispensar a necessidade de tocar o eletrodo na peça, assim como no processo de soldagem à arco elétrico com eletrodo revestido.

De acordo com Feitosa (2011) uma das principais vantagens da utilização deste processo é a capacidade de realização de soldas com elevada qualidade em quase todos os tipos de metais e ligas metálicas. Além disso, este método apresenta soldas isentas de respingos, livres de escoria, oxidação e resíduos. Cordões realizados pelo processo STAG não requerem tratamento pós soldagem.

Moselli (2013) e a empresa Esab (2014) relatam que este processo requer um usuário de maior habilidade para a utilização do equipamento. Outras desvantagens deste processo é a possibilidade da contaminação por tungstênio, proveniente do eletrodo não consumível, e intensa emissão de raios ultravioleta.

2.5 PROCESSO DE SOLDAGEM AO ARCO TUNGSTÊNIO COM ATMOSFERA GASOSA COM DEPOSIÇÃO EM PÓ (SATG-P)

Este é um processo de soldagem recentemente desenvolvido por Moselli (2013), o qual visa complementar o método STAG convencional. Tal complemento dar-se-á ao sistema de alimentação, para o depósito de ligas no processo de revestimento duro, o qual é capaz de utilizar ligas em forma de pó, depositados diretamente na poça de fusão. Vale salientar que as únicas formas de realizar depósito no sistema STAG eram em forma de vareta ou em alimentação automática por arames.

Segundo Moselli (2013) o modelo de bico foi idealizado baseando-se no estilo utilizado no processo Plasma de Arco Transferido Alimentado com Pó (PAT-P) com as devidas adaptações, pois na soldagem SATG o eletrodo é exposto e não existe gás de plasma. A figura 2 ilustra a esquematização do modelo desenvolvido.

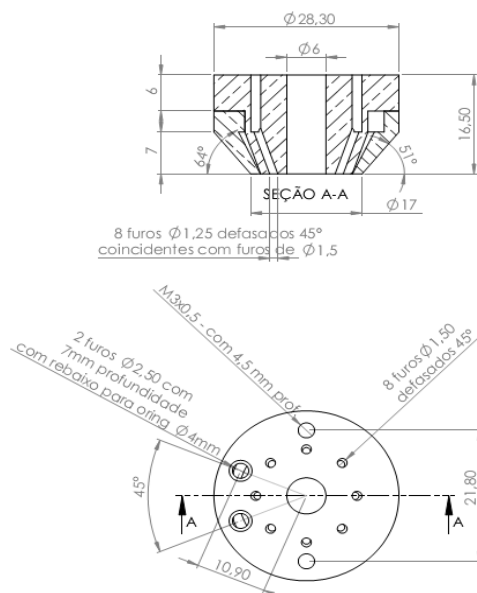


Figura 2 - Bico direcionador

Fonte: MOSELLI (2013)

Através do desenvolvimento de um novo bico, fora desenvolvido um sistema adaptado para a mesma. A Figura 3 ilustra tal sistema de adaptação.

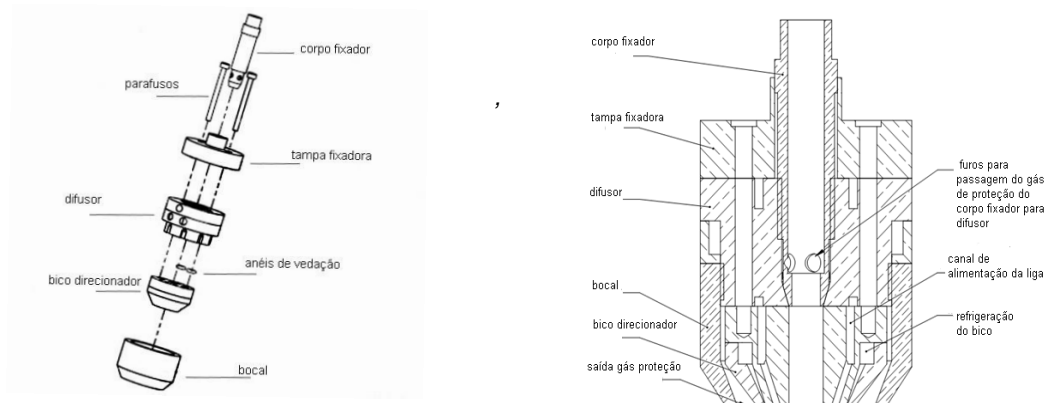


Figura 3 - Adaptador e bico desenvolvidos

Fonte: MOSELLI (2013)

Segundo Moselli (2013) comparando com o processo PAT-P o modelo proposto atingiu dureza e resistência ao desgaste nos mesmos patamares, encontrado na literatura. O processo ainda obteve resultados próximos em requisitos de microestrutura e diluição da poça de fusão.

Moselli (2013) diz que devido ao recente desenvolvimento do dispositivo, não há uma grande diversificação de estudos sobre processo STAG-P, dificultando obtenção de dados referente ao mesmo. Porém sabe-se fora alcançada boa diluição do material de deposição com uma faixa de corrente de 150 A, o processo ainda caracteriza-se pelo baixo custo de fabricação e de fácil adaptação, sendo ainda considerada de fácil manuseio pelo operador.

2.6 PARÂMETROS DE PULSO

Segundo Fischer (2011) a realização da soldagem com arco pulsado é necessita a regulagem da corrente e tensão de soldagem, tais regulagens são influenciadas por diversos parâmetros.

Para Fischer (2011) e Oliveira (2005) os principais parâmetros são:

- *Corrente de pico* - I_p [A]: É o valor máximo da corrente no processo. A corrente é responsável pelo estrangulamento da gota e pela transferência do metal do eletrodo para a poça de fusão. O valor precisa estar acima de um nível mínimo (corrente de transição), de forma a promover o destacamento de uma gota. O nível é depende do material, diâmetro do eletrodo e gás de proteção.
- *Corrente de base* - I_B [A]: É o valor mínimo da corrente no processo para alimentar o arco elétrico e para garantir que o arco fique aberto. A corrente de base não é suficiente para provocar a transferência do metal.

- *Tempo de pico* - t_P [ms]: É definido desde o início do pulso até a descida da corrente ou tensão.
- *Tempo de base* - t_B [ms]: Tempo entre os pulsos.
- *Tempo de subida* - t_{BP} [ms]: Tempo até a corrente chegar ao valor máximo.
- *Tempo de descida* - t_{PB} [ms]: Tempo até a corrente descer para o valor de base.
- *Velocidade de Soldagem* - V_s [m/min]: É a velocidade com que o arco é deslocado ao longo da junta. Tem influência na geometria do cordão e controla a quantidade de calor que é fornecida ao longo da junta, com a maior velocidade de soldagem, menor será a quantidade de energia recebida.
- *Taxa de deposição* – T_d [g/s]: É a quantidade de material de adição (em massa ou peso) depositado por unidade de tempo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PREPARAÇÃO DO SUBSTRATO

Como substrato, foi utilizado o aço SAE 1020 o qual será posteriormente retificado para a remoção de óxidos, óleo e sujeiras.

3.2 MATERIAL DE ADIÇÃO

Foi utilizado o material de adição à base de cobalto, comercialmente conhecida como Stellite 6 WM do fabricante Deloro Stellite, na forma de pó, com granulometria entre 45 e 180 μm e dureza de 41,3 HRC, aproximadamente, 405 HV.

3.3 EQUIPAMENTO DE SOLDAGEM

Para a realização da soldagem, foi utilizado o dispositivo para deposição de pó desenvolvido por MOSELLI (2013), uma máquina de solda multiprocessos modelo Inversal 450, um alimentador automático de pó metálico modelo ADP-2, equipamentos estes disponíveis no Laboratório de Soldagem da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Cornélio Procópio (UTFPR-CP). A figura 4 ilustra a aparelhagem utilizada



Figura 4 - Equipamento pronto para o início da deposição

Fonte: A autoria própria

3.4 DEPOSIÇÃO DOS REVESTIMENTOS

Sobre cada placa foi depositado um cordão, com a tocha desenvolvendo um deslocamento, na forma de tecimento, com amplitude de 25 mm e avanço de 4 mm, promovido por um sistema automatizado denominado Tartilope, modelo V2, também disponível no laboratório de soldagem. A Figura 5 demonstra o trajeto e as dimensões das chapas de aço SAE 1020.

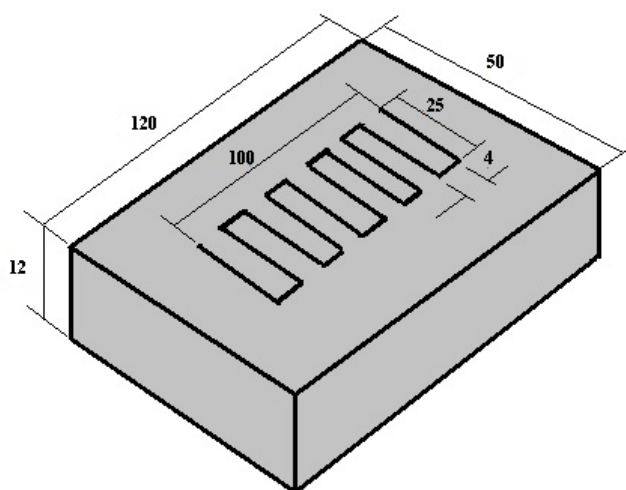


Figura 5 - Trajeto do equipamento sob o substrato

Fonte: A autoria própria

3.5 PARÂMETROS DE SOLDAGEM

Como experimento, foi utilizado corrente pulsada com variação dos tempos de permanência nas correntes de base e de pico, de forma que atinja uma corrente média próxima à utilizada por MOSELLI, P.C.(2013) no modo corrente contínua, ou seja, a média entre a corrente de pico e a corrente de base deverá estar na casa dos 150 A. a Tabela 1 apresenta os parâmetros que foram utilizados para análise.

Tabela 1 - Parâmetros de pulso para o experimento

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
Corrente de pico (A)	180	180	180
Corrente de base (A)	120	120	120
Tempo de pico (ms)	5	7,5	3
Tempo de base (ms)	5	2,5	7
Taxa de deposição (g/s)	19	19	19
Vazão de gás de proteção (l/min)	10	10	10
Vazão de gás de arraste (l/min)	1,5	1,5	1,5
Distância do eletrodo a peça (mm)	10	10	10
Diâmetro do eletrodo (mm)	3,2	3,2	3,2
Velocidade de soldagem (mm/min)	120	120	120

Fonte: Autoria própria

3.6 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Após a realização do procedimento de soldagem foram retiradas as amostras do revestimento em cortes transversais ao mesmo, de tal forma que foi possível realizar análises sob o cordão da solda e para tal, foi utilizado a cortadora de amostras metalográficas.

3.7 PREPARAÇÃO METALOGRÁFICA

Cada corpo de prova passou por lixamento, com lixas de grana 220, 320, 400, 600 e 1200mesh, foi descartados o início e fim do cordão, evitando o trecho de abertura e fechamento do arco.

Foi realizado um ataque químico com a finalidade de revelar a micro estrutura do cordão. A solução utilizada foi de 15 ml H₂O, 15 ml HNO₃, 15 ml CH₃COOH e 60 ml HCl, a mesma utilizado por MOSELLI (2013), por aproximadamente 1 minuto e logo em seguida foram analisados em um microscópio óptico, posteriormente foram submetidos ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) e posteriormente realizado uma microanálise em duas regiões distintas.

3.7.1 DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE GRÃO

Será realizado o método da intersecção descrito por CALLISTER (1940), onde o tamanho o tamanho do grão poderá ser estimado utilizando linhas restas, todas com o mesmo comprimento, que serão desenhadas sobre as imagens obtidas através da micrografia. Os grãos interceptados por cada segmento de linhas serão contados.

O comprimento da linha então será dividido pela média da quantidade de grãos interceptados, sendo considerados todos os segmento de linhas. O diâmetro médio será então determinado através da divisão deste resultado pela ampliação linear das foto micrografias. A equação para determinação será então:

$$TG = \frac{\text{Comprimento da linha}}{\text{Médiagrãos} \times \text{Ampliação}} \quad (1)$$

Onde TG será dado em micrometros.

3.8 PERFIS DE DUREZA

As medições de dureza foram realizadas na seção transversal da amostra de modo que abranjam toda a sua extensão.

Foi realizado um total de 11 medições, sendo 8 delas na região central do cordão, uma medição na região de intersecção entre o substrato e o revestimento e mais duas medições dentro da área afetada no substrato.

O durômetro Pantec, Modelo RBS-H utilizado foi fornecido pelo laboratório de Materiais da UTFPR- Campus CP. A carga a ser utilizada no ensaio de dureza foi de 150 kgf, com penetrador de diamante cônico 120° na escala HRC.

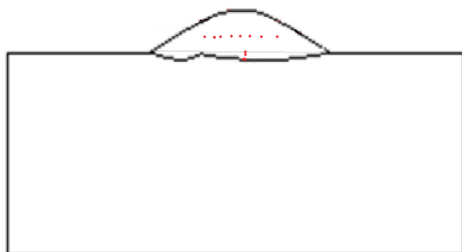


Figura 6 - Esquematização do ensaio de dureza

Fonte: Autoria própria

3.9 DILUIÇÃO DO REVESTIMENTO COM O SUBSTRATO

A determinação da diluição foi efetuada através das áreas das amostras, ou seja, será obtido a área do revestimento e a área diluída com o substrato. Para isto foi utilizado o *software Image J* que contém funções de medição de área através de uma zona selecionada.

A determinação foi dada pela divisão da área diluída pela área total do revestimento, ou seja:

$$d\% = \frac{\text{Área diluída}}{\text{Área total}} \quad (2)$$

A Figura 7 exemplifica o método.

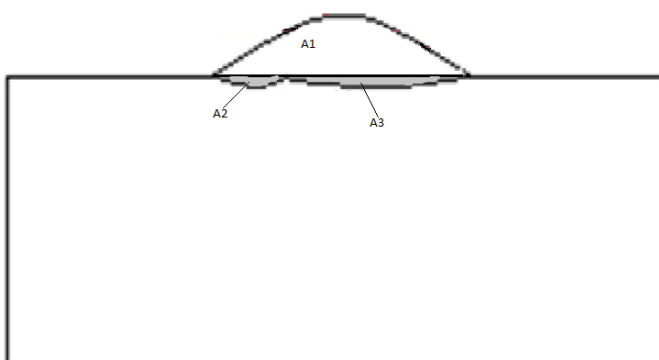


Figura 7 - Áreas para a determinação da diluição

Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS

4.1 REALIZAÇÃO DA DEPOSIÇÃO

A Figura 8 demonstra os resultados, apenas em seu aspecto visual, das deposições nas condições propostas para comparação neste trabalho.



(a)



(b)



(c)

Figura 8 - a) Depósito na amostra R1, b) Depósito na amostra R2 e c) Depósito na amostra R3

Fonte: Autoria própria

4.2 REALIZAÇÃO DA METALOGRAFIA

Após a realização do revestimento cada peça fora seccionada afim de obter quatro perfis do cordão, ou seja, cada peça (R1, R2 e R3) gerou 4 corpos de prova cada. Cada corpo de prova passou pela preparação metalográfica descrita anteriormente.

As Figuras 9,10, 11, 12, 13 e 14 apresentam as metalografias obtidas por microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura.

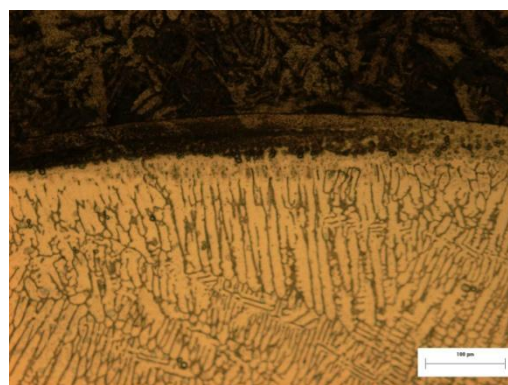
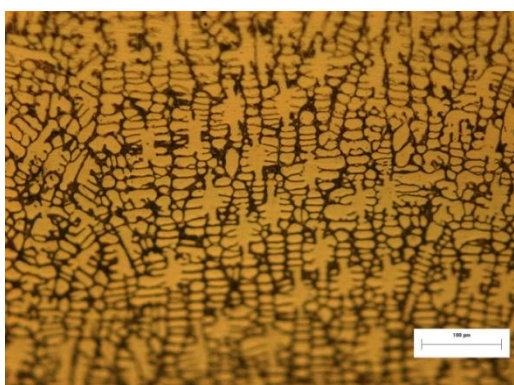


Figura 9 - Região central e inferior do revestimento, obtida através de um microscópio óptico. Amostra R1

Fonte: Autoria própria

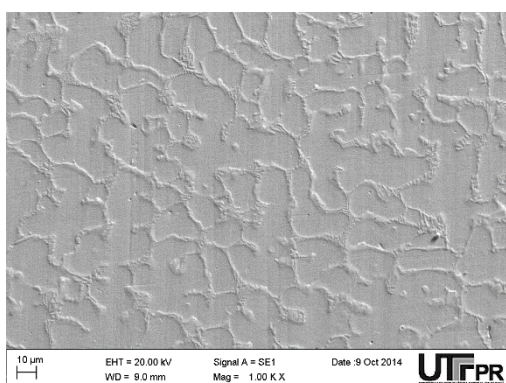


Figura 10 - Região central do revestimento obtida através do MEV. Amostra R1

Fonte: Autoria própria

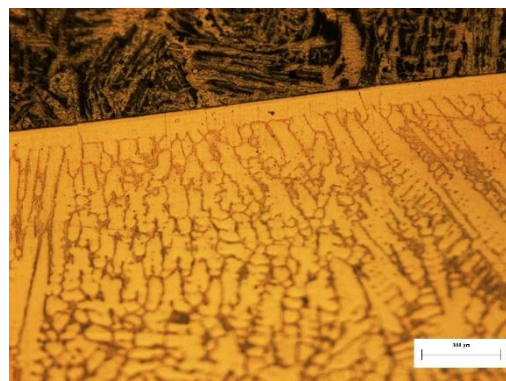
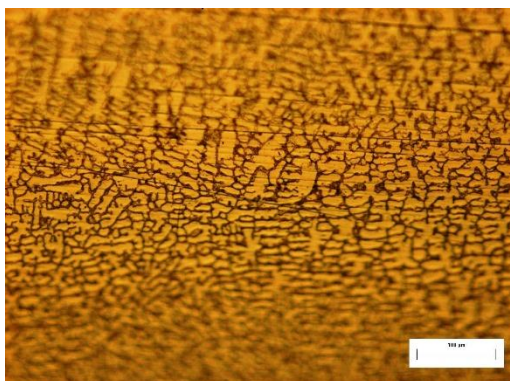


Figura 11 - Região central e inferior do revestimento obtida através de um microscópio óptico. Amostra R2

Fonte: Autoria própria

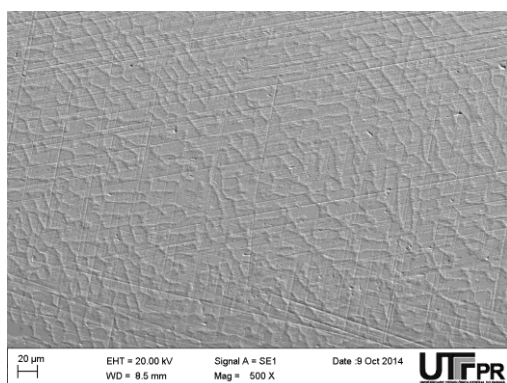


Figura 12 - Região central e inferior do revestimento obtida através do MEV. Amostra R2

Fonte: Autoria própria

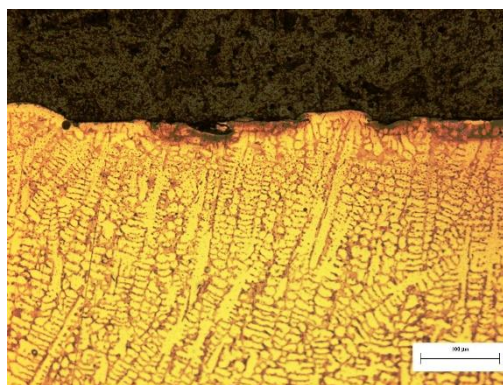
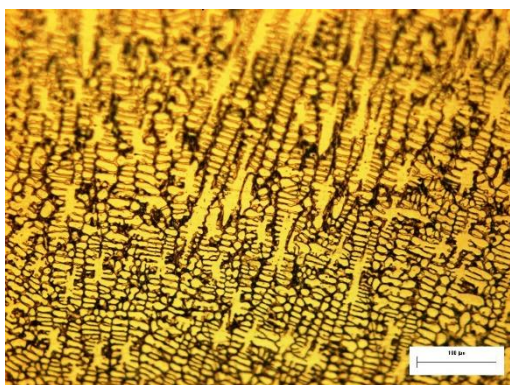


Figura 13 - Região central e inferior do revestimento obtida através de um microscópio óptico. Amostra R3

Fonte: Autoria própria

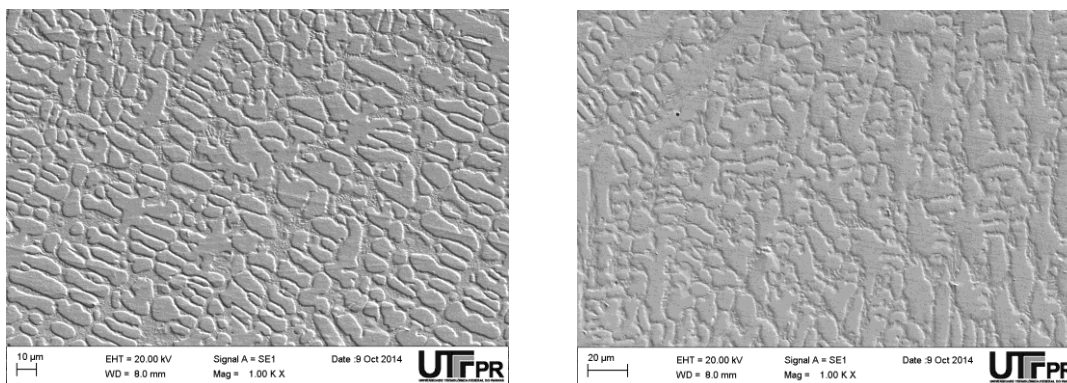


Figura 14 - Região central e inferior do revestimento obtida através do MEV. Amostra R3

Fonte: Autoria própria

4.2.1 MICROANÁLISE

Fora realizado uma microanálise nas regiões A e B do corpo de prova R1, afim de determinar os principais elementos, suas massas e a porcentagem de presença de cada elemento em cada região. A Figura 18 demonstra as regiões de estudo.

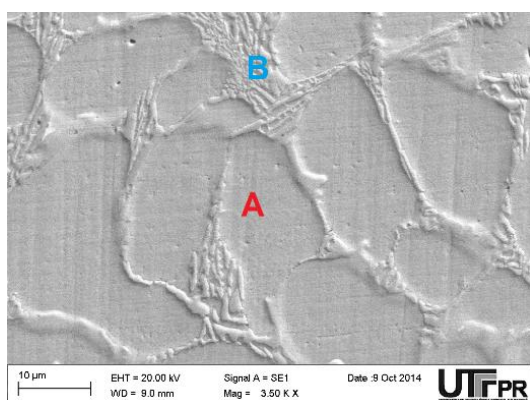


Figura 15 - Regiões de microanálise

Fonte: Autoria própria

A figura 16 e a Tabela 2 demonstram os resultados obtidos na microanálise para a região A.

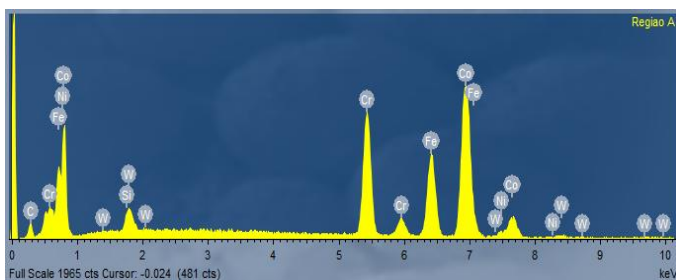


Figura 16 - Espectro para a região A

Fonte: Autoria própria

Tabela 2 - Relação dos principais elementos que constituem a região A

Elementos	Peso (%)	Átomos (%)
Si	0,86	1,76
Cr	20,54	22,8
Fe	21,52	22,24
Co	51,31	50,25
Ni	1,7	1,67
W	4,08	1,28

Fonte: Autoria própria

A figura 20 e a Tabela 5 mostram os resultados obtidos na microanálise para a região A.

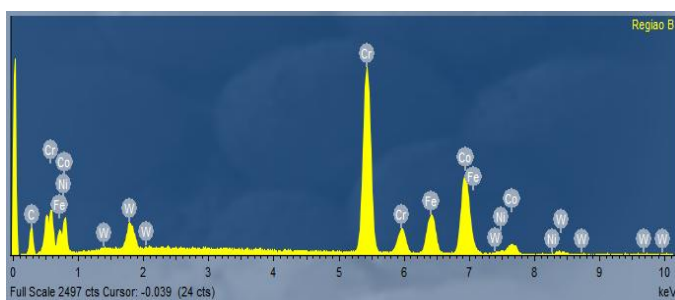


Figura 17 - Espectro da região B

Fonte: Autoria própria

Tabela 3 - Relação dos principais elementos que constituem a região B

Elementos	Peso (%)	Átomos (%)
Si	0,55	1,12
Cr	42,93	47,44
Fe	14,3	14,72
Co	34,46	33,6
Ni	1,04	1,02
W	6,72	2,1

4.3 TAMANHO DE GRÃO

Após a retirada das imagens fora feita uma análise quantitativa de cada amostra, determinando então o tamanho médio dos grãos pelo método das interseções descrita por CALLISTER (1940). A tabela 6 apresenta os resultados dos tamanhos de grãos das amostras.

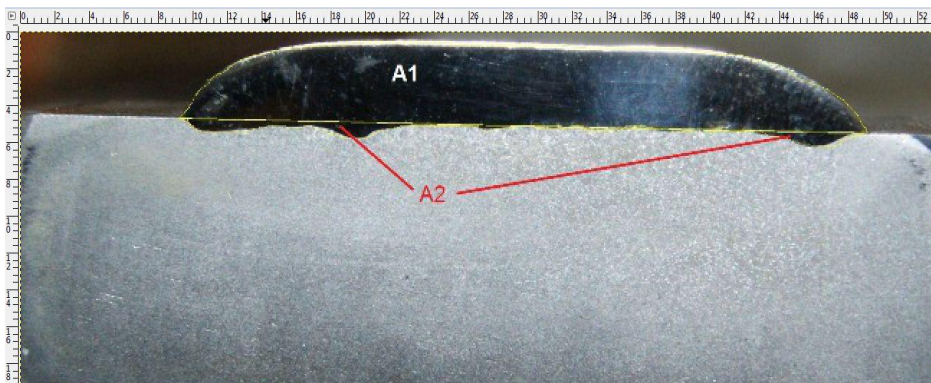
Tabela 4 - Determinação do tamanho de grão médio

Linhas	Amostra R1		Amostra R2		Amostra R2	
	Central	Substrato	Central	Substrato	Central	Substrato
L1	14	2	18	12	15	15
L2	15	17	12	13	20,5	12
L3	14,5	19	21	12	20	15
L4	15	14	14	10	22,5	15
L5	12	10	17,5	8,5	16	13
Aumento (μm)	100	100	100	100	100	100
Tamanho da linha (μm)	200000	200000	200000	200000	200000	200000
TG (μm)	137,931	142,857	114,286	166,667	100	133,333

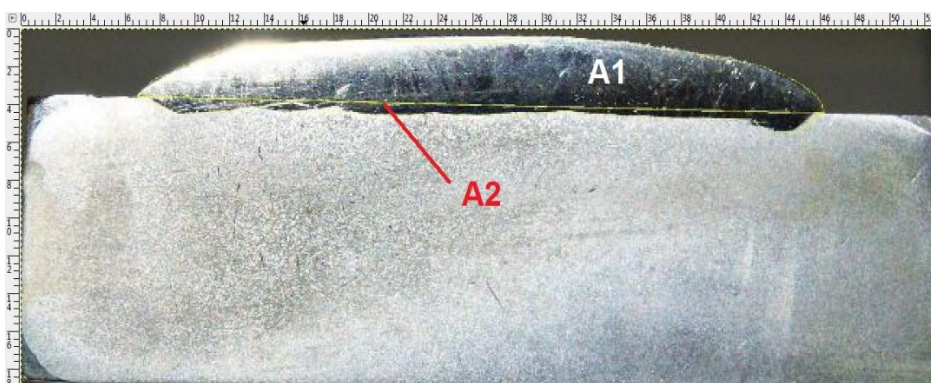
Fonte: Autoria própria

4.4 DILUIÇÃO

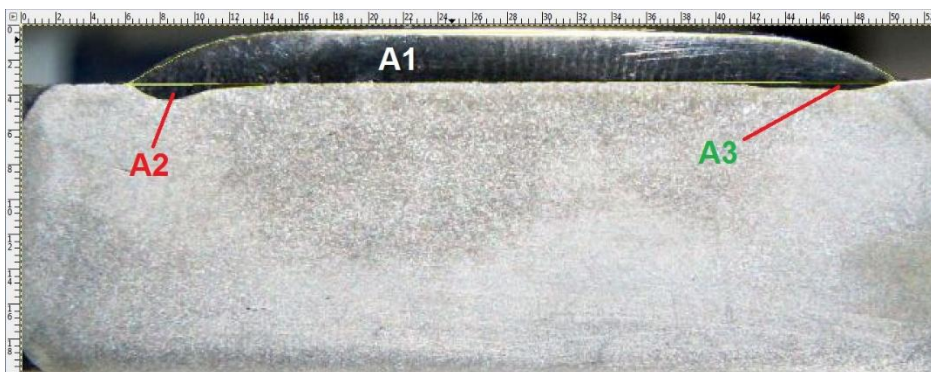
A partir do *software Image J* foram obtidos os valores das áreas para a determinação da diluição do revestimento no substrato SAE 1020. A figura 18 mostra as áreas calculadas na seção transversal de cada amostra.



(a)



(b)



(c)

Figura 18 - a) Diluição da amostra R1, b) Diluição da amostra R2 e c) Diluição da amostra R3
Fonte: Autoria própria

A tabela 7 apresenta os resultados das diluição, utilizando a equação (II) apresentada no item 4.9

Tabela 5 - Cálculo da diluição para as amostras R1, R2 e R3

Área	Amostra R1	Amostra R2	Amostra R3
	Valores de área (pixels ²)	Valores de área (pixels ²)	Valores de área (pixels ²)
1	253239	132265	141352
2	20866	23465	2761
3	0	0	3519
Área total	274105	155730	147632
D%	7,61%	15,07%	4,25%

Fonte: Autoria própria

4.5 ENSAIO DE DUREZA HRC

Segue abaixo os dados obtidos através do ensaio de dureza HRC, onde as medições de 1 a 8 foram obtidas no centro do perfil abrangendo toda a extensão, a medida 9 foi obtida na região de intersecção entre o revestimento e o substrato e as medidas 10 e 11 são medidas realizadas na área diluída. A tabela 6 elenca todas as medidas do ensaio de dureza HRC.

Tabela 6 - Apontamento das durezas nos perfis seccionados

Medições	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Média
R1	60	60	61	59	61,5	61	57	64	43	39	37,5	60
R2	66,5	65	67	65	66	65	64,5	65,5	49	41,5	43	65
R3	65	60	65	66	66,5	65	65	65	46,5	43	44	65

Fonte: Autoria própria

A figura 19 demonstra o comportamento da dureza no perfil analisado.

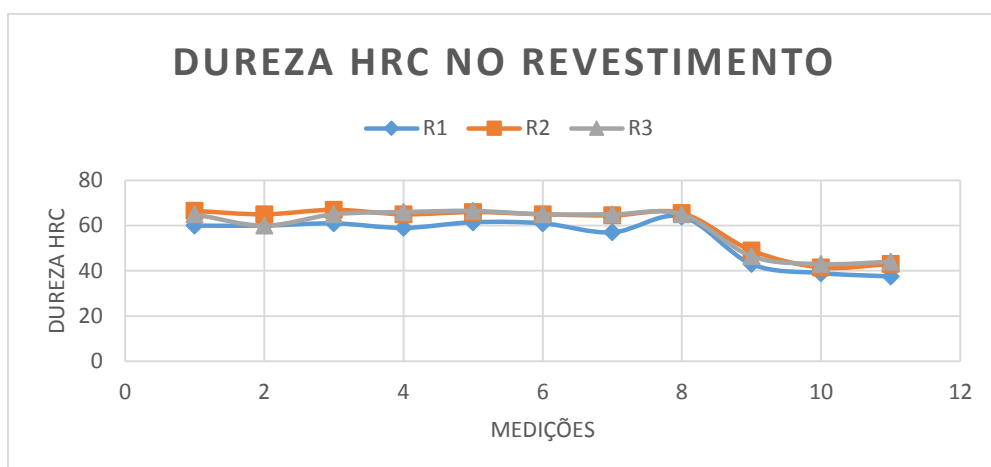


Figura 19 - Relação de dureza entre as amostras

Fonte: Autoria própria

5 ANÁLISES E DISCUSSÕES

Logo após o término do revestimento de cada amostra é possível através da análise visual identificar que os parâmetros da amostra R1 proporcionaram a fusão de todo material depositado, apresentando um acabamento superficial de excelente aspecto. Já os parâmetros utilizados para as outras duas amostras não obtiveram êxito em fundir toda a liga de revestimento, é possível realizar esta verificação nas figuras 8 (b) e 8 (c) onde a parte não fundida está representada pela região azul em cima do revestimento deixando as amostras com um aspecto visual não tão bom quanto o da amostra R1, outra característica na falta de fusão se dá pelo excesso de poros nas amostras R2 e R3.

Realizando uma breve análise nas imagens metalográficas e correlacionando-as com o tamanho médio dos grãos e com a análise de dureza HRC, é possível dizer que a amostra R1 foi a amostra que obteve o maior tamanho médio de grão e conseqüentemente menor dureza. Já a amostra R2 e R3 obtiveram os parâmetros relativamente próximos, porém é possível notar que a amostra R3 obteve menor tamanho médio de grão, o que pode ter levado à um aumento da dureza, em alguns pontos. Por outro lado podemos também correlacionar os tamanhos de grãos e dureza com a quantidade de calor introduzida em cada condição. Sabe-se que quanto maior o calor gerado maior é a microestrutura, ou seja, microestrutura mais grosseira e que quanto menor for o aporte térmico introduzido, proporcionará uma microestrutura mais refinada. Esta correlação pode influenciar diretamente numa menor e maior dureza respectivamente, como relatado por MOSELLI (2013).

Com a obtenção dos perfis de revestimento fora possível determinar a quantidade de Stellite 6 que se diluiu com o substrato. Com os resultados obtidos é possível dizer que a amostra R1 obteve 7,61% de todo o material depositado, diluído com o substrato. Já as amostras R2 e R3 obtiveram 15,1% e 4,3% de material diluído. Estes resultados também são influenciados diretamente pelo aporte de calor gerado em cada condição. MOSELLI (2013) verificou que quanto menor a diluição, quando se está trabalhando com revestimento, a composição química do revestimento estará mais próxima da composição da liga depositada e

consequentemente as propriedades mecânicas também, como por exemplo, a dureza, que faz parte deste estudo.

Com a realização da microanálise em duas regiões distintas, verifica-se a diferença de elementos em suas composições químicas.

Na região A é verificado que os elementos que mais contribuem são o ferro, cromo e o cobalto, sendo o cobalto o elemento com maior porção participativa chegando a 51,31% da massa máxima dos elementos, o cromo detém 20,54% e o ferro 21,52%.

Já na região B, os elementos que mais contribuem continuam sendo o ferro, cromo e o cobalto porém há uma grande variação em suas porcentagens de contribuição. O elemento com maior porção participativa na região B é o cromo totalizando 42,93% da massa total dos elementos do revestimento, o cobalto detém 34,46% e o ferro 14,3% da massa total. Além desta variação, nota-se através do espectro da região B, demonstrada na Figura 17, a maior presença de carbono e tungstênio na composição do revestimento, o que pode nos levar a concluir que na região B há uma concentração maior de carbeto dos tipos mencionadas na revisão bibliográfica.

6 CONCLUSÃO

A partir das discussões realizadas com base nos resultados obtidos de cada amostra, é possível dizer que apesar da amostra R1 ter obtido um aspecto visual melhor do que as demais o mesmo não ocorreu com a dureza, tamanho de grão e com a diluição. As amostras R2 e R3 obtiveram durezas relativamente iguais, porém a amostra R3 se destacou com grãos menores e menor diluição.

Portanto, recomenda-se variar o tempo de pico e de base, preferencialmente deixando o pulso com maior tempo de base, gerando um menor aporte térmico, para melhor obtenção das propriedades do revestimento.

A microanálise revelou a grande diferença de participação entre os elementos do revestimento, o que nos leva a concluir que a região B é mais dura do que a região A, pois além de seu aspecto visual mais robusto há uma maior porcentagem em elementos mais duros do que na região A, ou seja, o cromo é mais duro que o cobalto, que por sua vez é mais duro que o ferro. Além da relação de dureza, a maior participação do carbono na região B leva-nos a acreditar que houve a formação de carbeto de cromo e de cobalto, porém apenas este ensaio de microanálise não é possível de afirmar a formação de carbeto, o que para determinarmos com maior precisão seria necessário um ensaio de difração de raios-x.

Como um dos objetivos é a comparação desses resultados com os obtidos em outro trabalho, onde se utilizou a corrente contínua e uma corrente de 150A, MOSELLI(2013), é possível verificar que a corrente pulsada, na condição R3, apresentou uma menor diluição do que a corrente contínua, sendo 4,3% e 7% respectivamente.

Uma outra comparação entre estes trabalhos pode ser em função da dureza, cujos resultados mostram um melhor comportamento também para o processo que utiliza a corrente pulsada, que influenciou sensivelmente na microestrutura e diluição, proporcionando excelente resultado da dureza, ou seja, 65 HRC para corrente pulsada e 45 HRC para corrente contínua MOSELLI(2013).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BAPTISTA, A.L.B.; NASCIMENTO, I.A. (2012). **Revestimentos duros resistentes ao desgaste depositados por soldagem utilizados na recuperação de elementos de máquinas.** Disponível em: <<http://www.spectru.com.br/Metalurgia/diversos/soldadesgaste.pdf>>. Acesso em: 5 de maio de 2014.

CALLISTER, Willian D; **Ciencia e engenharia de materiais uma introdução.** 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 1940. 75p

ESAB. **Processo de soldagem TIG.** Disponível em: <<http://www.esab.com.br>>. Acesso 10 de maio de 2014.

ESAB. **Revista solução 2005.** Disponível em: <<http://www.esab.com.br>>. Acesso 10 de maio de 2014.

ESTRELA DOS METAIS: **Solução em aços e metais especiais.** Disponível em: <http://www.estreladosmetais.com.br/arquivo/liga_especial/dados/refratario/steelite.php>. Acesso: 5 de maio de 2014.

FEITOSA, L.F; **Síntese e avaliação catalítica de carbeto de tungstênio (w2c) para a reação de HDS.** Dissertação (Mestrado em Engenharia dos materiais) – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2011.

FISCHER, A. (2011). **Estudo da influência dos parâmetros no processo De soldagem GMAW - arco pulsado.** Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais. 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8S7H6T>> Acesso em: 20 de agosto de 2014.

INFOSOLDA. **Portal brasileiro de soldagem.** Disponível em: <http://www.infosolda.com.br/biblioteca-digital/material%20didatico/tm264_selecao_materiais/2010/2010_2/Revestimento_so ldagem_AT_3.doc>. Acesso: 07 de maio de 2014.

MODENESI, P.J; MARQUES, P.V (2000): **Introdução aos processos de soldagem.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/processo.pdf>>. Acesso em 15 de maio de 2014.

MODENESI, P.J; MARQUES, P.V; SANTOS, D.B (2012): **Introdução à metalurgia da soldagem.** Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em <<http://demet.eng.ufmg.br/wp-content/uploads/2012/10/metalurgia.pdf>> Acesso em: 13 de maio de 2014.

MOSELLI, P. C. (2013). **Desenvolvimento de dispositivo, adaptado à tocha SATG, para a realização de revestimento duro, utilizando ligas, em forma de pó.** 136 f Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2013.

MOSELLI, P. C., DE OLIVEIRA, M. F., MORENO, J. R. S. **Deposited properties in hardfacing SAE 1020 substrate by using alloy welding GTAW Stellite 6 in**

powder form. 22nd International Conference on Production Research. Fóz do Iguaçu, 2013.

OLIVEIRA, L. M. (2005). **Uma Investigação da Influência dos Parâmetros de Pulso em Soldagem com Eletrodo Tubular com Proteção Gasosa**, Itajubá, 103p. Dissertação (Mestrado em Projeto e Fabricação) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá.

SIMISA. **História da soldagem.** Disponível em:<<http://www.simisa.com.br> > Acesso em 10 de abril de 2014.