

### 3.2.2 - Microscopia Eletrônica de Varredura

As Figuras 52, 53 e 54 apresentam imagens obtidas por MEV e que exemplificam os resultados obtidos para a variação da forma e do tamanho dos grãos entre o MB, ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB e a ZF do 2º reparo. As imagens foram obtidas no modo elétrons secundários, este modo fornece maior resolução e uma imagem de fácil interpretação devido ao forte efeito topográfico das fases presentes (contraste em função do relevo). Os pequenos pontos “brancos” nestas imagens obtidas correspondem às regiões com a presença de elementos de menor peso atômico (mais leves que o ferro, este último abundante na matriz de martensita revenida) e na forma de carbonetos e a matriz martensita revenida é a que apresentou tonalidade cinza escuro (*background*) [MANNHEIMER, 2002].

As imagens da ZTA e zona de fusão (Figuras 54 e 55) são do processo Arame Tubular na região de enchimento.

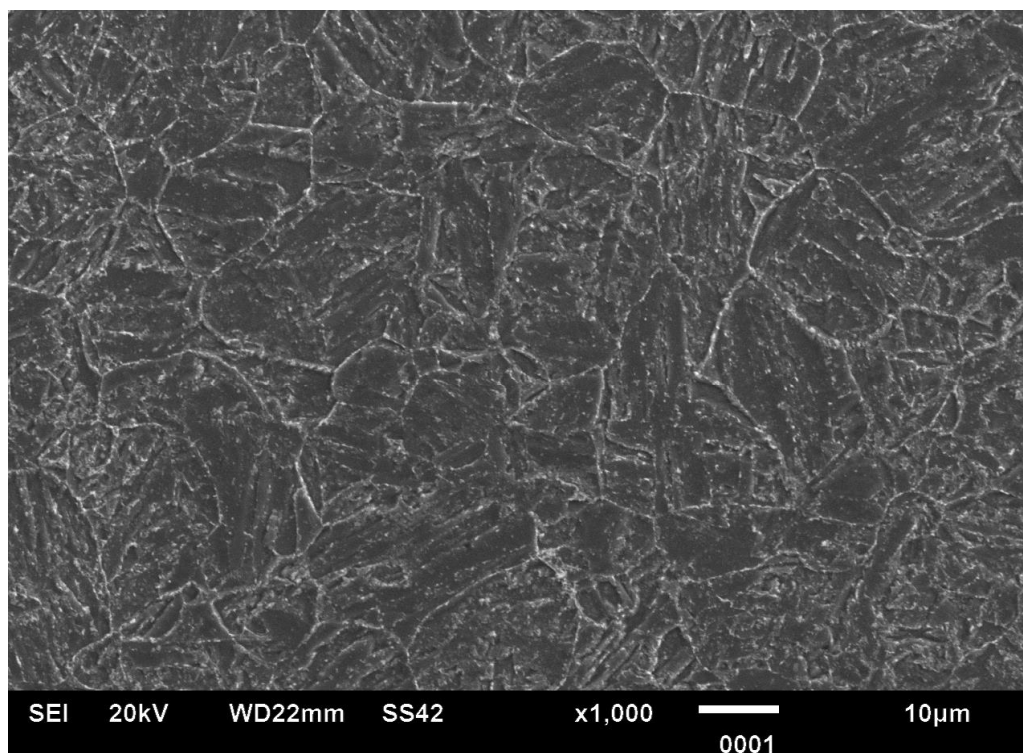


Figura 1. Aspecto micrográfico do metal de base, amostra com duplo reparo, obtido por MEV operando no modo elétrons secundários, com aumento de 1000x.

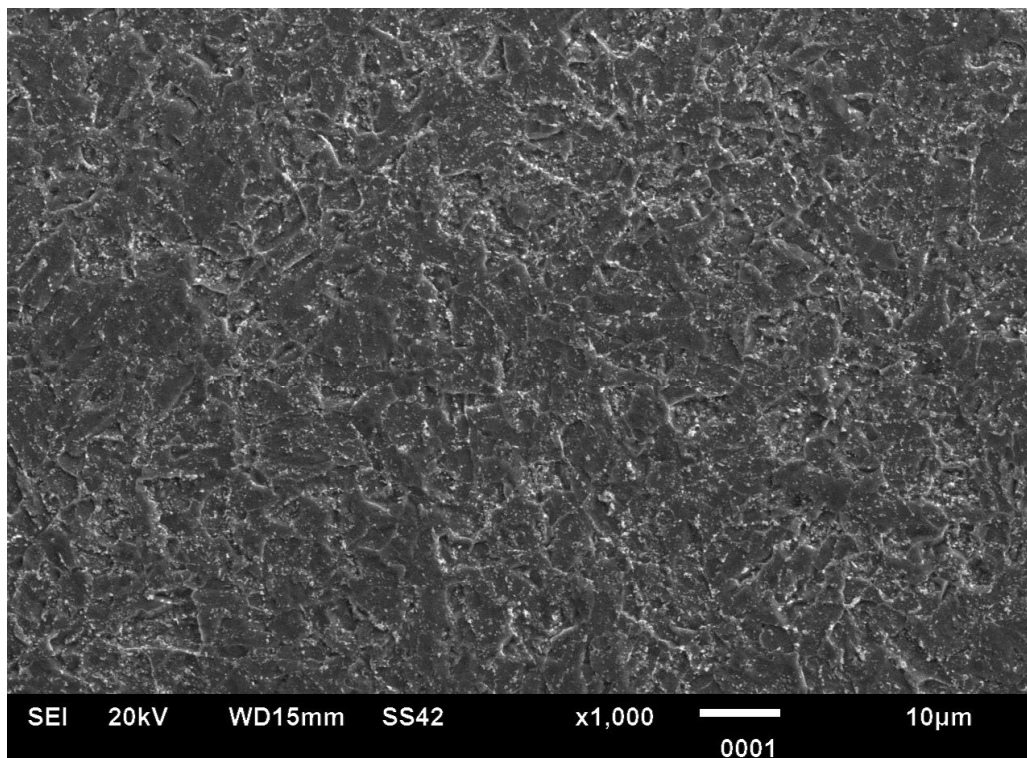


Figura 2. Aspecto micrográfico da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB, amostra com duplo reparo obtido por MEV operando no modo elétrons secundários, com aumento de 1000x.

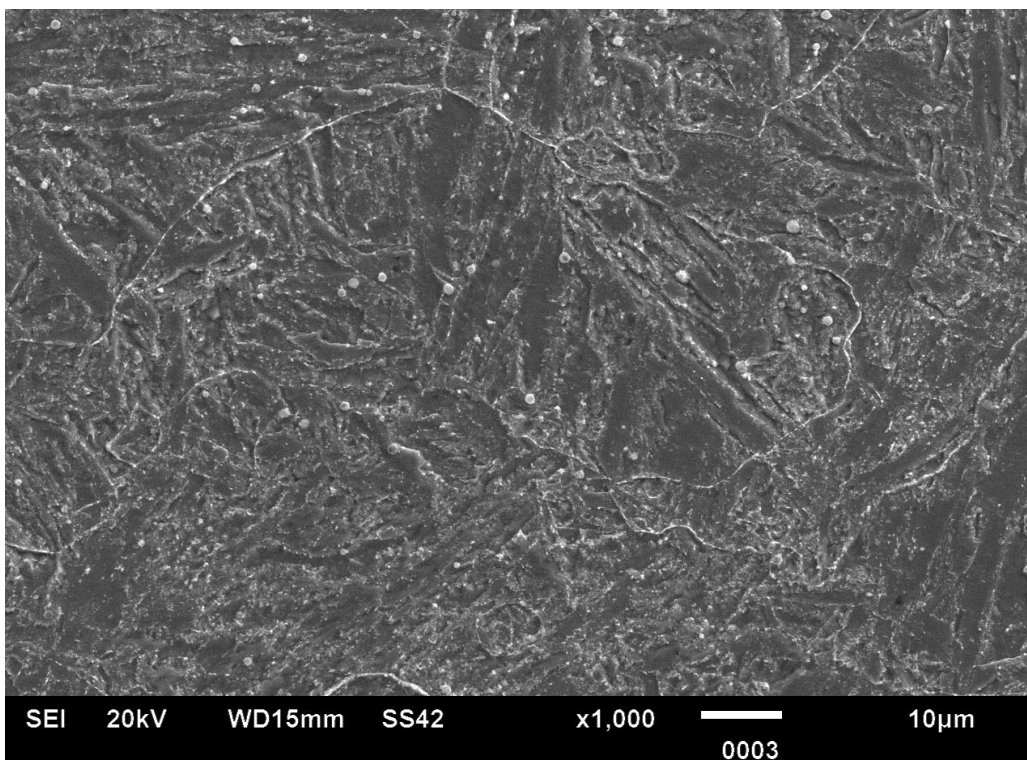


Figura 3. Aspecto micrográfico da ZF do 2º reparo, amostra com duplo reparo, obtido por MEV operando no modo elétrons secundários, com aumento de 1000x.

Na imagem da Figura 54 observa-se além da presença de carbonetos de Cromo (pontos brancos menores, confirmados pela análise por EDS que será apresentado na sequência).

A análise química semiquantitativa por EDS na superfície da junta com duplo reparo, especificamente em parte do MB, ZF do lado sem reparo e ZF do 2º reparo, identificou alta porcentagem de Ferro, porcentagens de Cromo e Silício dentro da especificação do material, baixa porcentagem de Molibdênio e alta porcentagem de Vanádio. Como não foi feita uma análise química estritamente quantitativa, com alta precisão, não é possível dizer se houve mudanças significantes na composição do aço com relação às especificações mínimas da norma ASTM A335 [ASTM A335, 2006], somado a isso, não foi detectada a presença do Manganês e do Nitrogênio na análise. A Figura 55 mostra o espectro obtido na análise química por EDS e a Tabela 7 mostra a porcentagem relativa aos elementos detectados.

Os altos teores obtidos para o Carbono se devem a pouca eficácia da técnica de análise por EDS para detecção de elementos com baixo peso atômico, o que também pode justificar a ausência do Nitrogênio [MANNHEIMER, 2002].

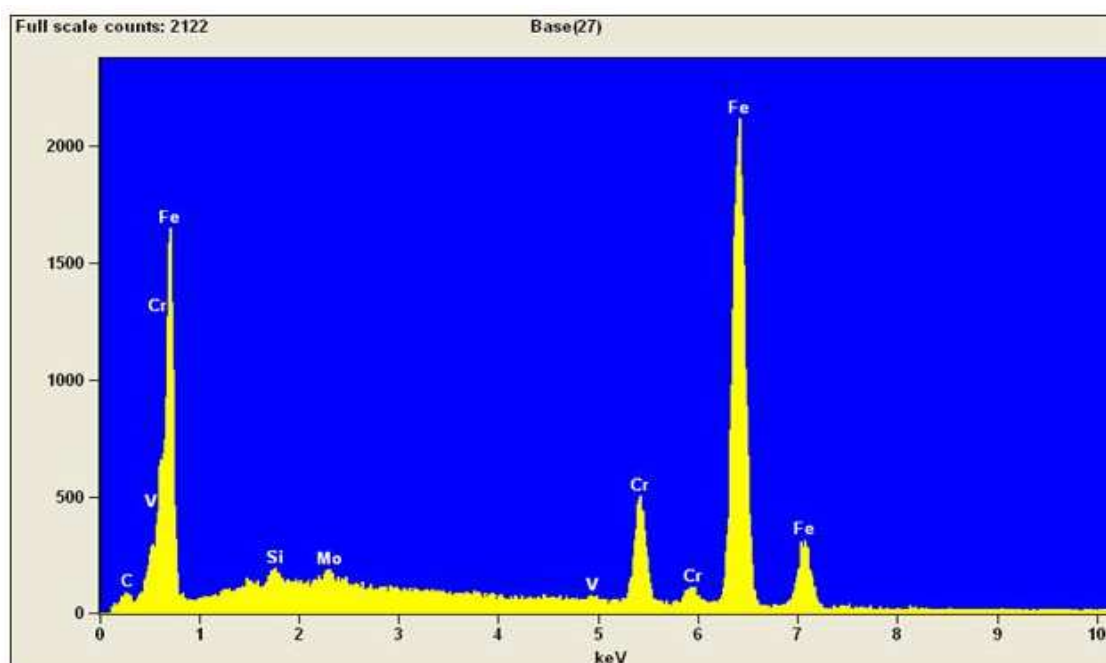


Figura 4. Espectro referente ao resultado da análise EDS em parte do MB, ZF do lado sem reparo e ZF do 2º reparo.

Tabela 1. Resultados quantitativos obtidos pela análise química semiquantitativa por EDS em parte do MB, ZF do lado sem reparo e ZF do 2º reparo.

Elemento	Peso%	Peso % Erro	Átomo %	Átomo % Erro
<b>C</b>	2,15	+/- 0,21	9,18	+/- 0,88
<b>Si</b>	0,49	+/- 0,07	0,89	+/- 0,12
<b>V</b>	0,39	+/- 0,08	0,39	+/- 0,08
<b>Cr</b>	9,75	+/- 0,25	9,63	+/- 0,25
<b>Fe</b>	86,53	+/- 0,80	79,54	+/- 0,74
<b>Mo</b>	0,70	+/- 0,13	0,38	+/- 0,07
<b>Total</b>	100,00		100,00	

A Figura 56 mostra a imagem da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB, na região de enchimento, com aumento de 4000 vezes. Dois pontos (“brancos”, mais claros) foram selecionados na para a análise por EDS, um mais na extremidade do grão e o outro mais ao centro. As Figuras 57 e 58 mostram os resultados dos espectros obtidos para os pontos 1 e 2 da Figura 56, respectivamente.

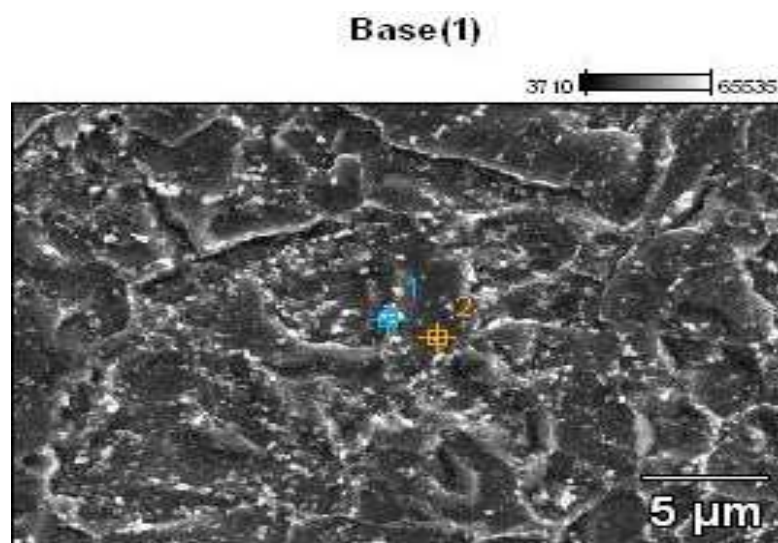


Figura 5. Pontos selecionados da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB para análise química por EDS.

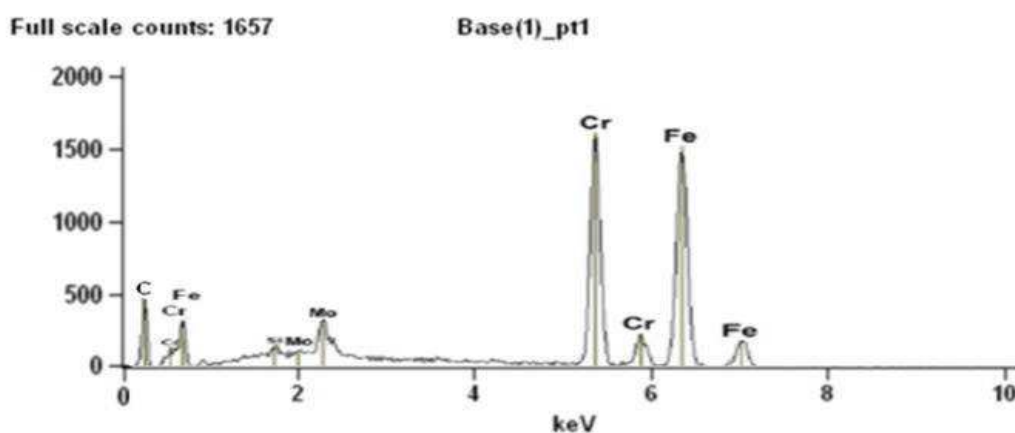


Figura 6. Espectro do ponto 1. Presença significativa do Cromo.

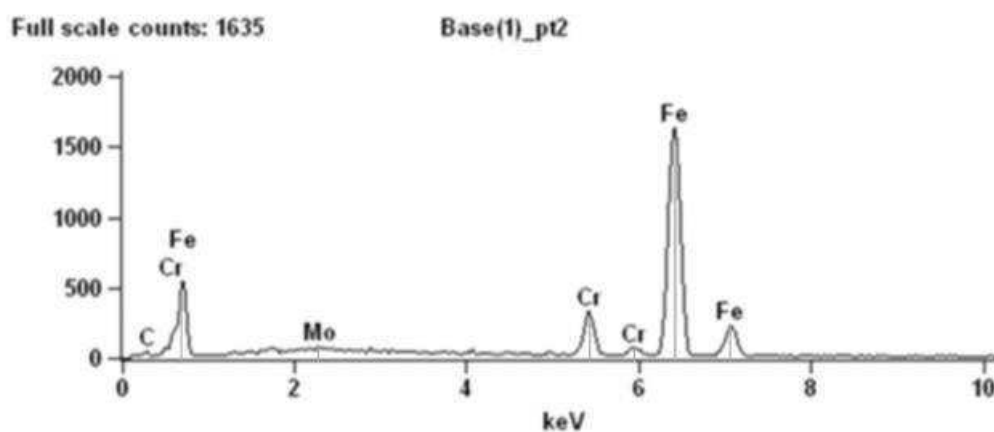


Figura 7. Espectro do ponto 2. Picos de energia maiores para o Ferro.

O espectro da Figura 57 mostra que pelo alto pico atingido pelo Cromo em comparação aos outros elementos, o ponto 1 tem grande chance de corresponder a um carboneto deste elemento, e pela localização na extremidade do grão pode ser um carboneto de Cromo do tipo  $M_{23}C_6$  [Zhang, 2001].

O espectro da Figura 58 mostra que os picos de Cromo não foram tão altos, isto indica que não há grande concentração de Cromo no ponto selecionado, no entanto, pelo tamanho do objeto, há uma chance maior do espectro corresponder à matriz do material e não a um carboneto.

Para verificar os elementos constituintes ao longo de cada região da junta foi utilizada a análise *line scan*. Esta técnica permite selecionar e apresentar os resultados para (através de software próprio do EDS) os constituintes presentes ao longo de uma linha ou direção. A Figura 59 mostra a linha que foi traçada do centro

da junta até 4,5 mm para a direita e que permitiu analisar os elementos químicos presentes na ZF do 2º reparo. O resultado da análise é mostrado na Figura 60 com o espectro obtido na zona, que mostra um comportamento muito semelhante ao espectro apresentado na Figura 58. Os elementos presentes são Cromo, Ferro, Molibdênio, Carbono e Silício, não coincidentemente os elementos com maiores teores na liga e nos consumíveis utilizados.

Esta mesma análise foi feita no MB e nas zonas de fusão das amostras com e sem duplo reparo. Em todas as análises foram obtidos resultados quase idênticos, nas que contemplaram o MB foi identificado Vanádio. É importante ressaltar as ausências do Nitrogênio e do Manganês. Assim como o Vanádio, o Nitrogênio é um elemento formador de carbonetos e carbonitretos menores do tipo MX que contribuirão para o aumento da resistência à fluência. O Manganês é um estabilizador da austenita, ele ajuda a garantir a formação de 100% de austenita (sem ferrita  $\delta$ ) durante a austenitização [Zhang, 2009].

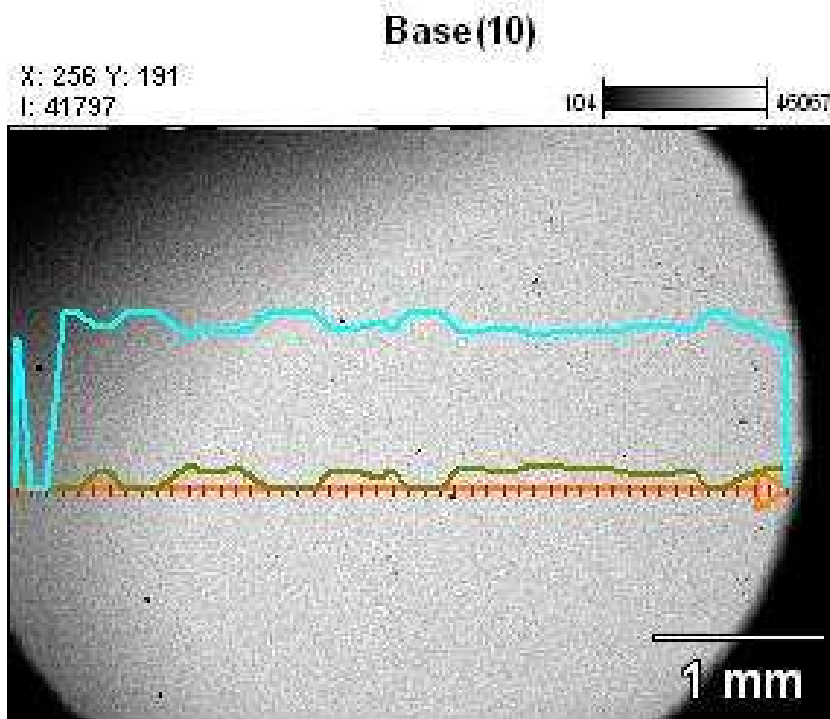


Figura 8. Análise EDS *line scan*, ZF do 2º reparo, aumento de 25x.

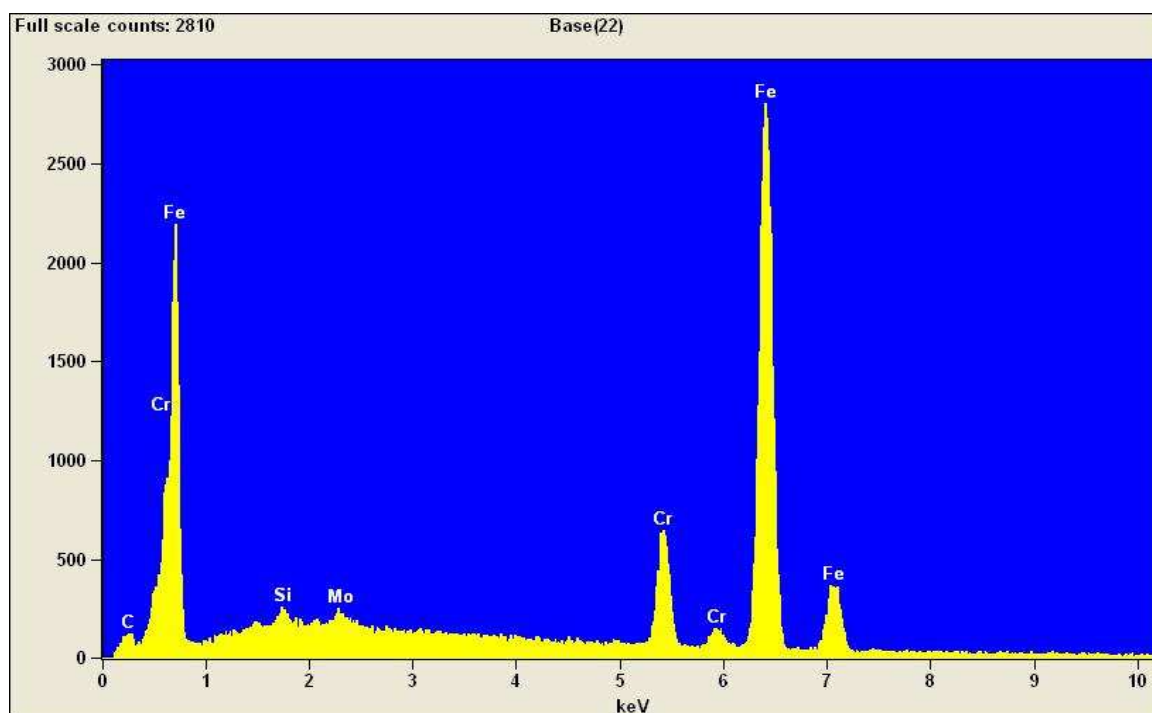


Figura 9. Espectro referente ao resultado da análise EDS *line scan*, ZF do 2º reparo da Figura 56.

As Figuras 61 e 62 exemplificam o aspecto microestrutural da ZTA central da junta reparada e da ZTA que não sofreu influência do reparo, respectivamente. Assim como nos resultados obtidos por MO (microscopia óptica) as zonas possuem aspectos distintos, além disso, a ZTA que não sofreu influência do reparo parece possuir densidade de “pontos brancos” maior e distribuição diferente. Esta afirmação apenas qualitativa pôde ser melhor visualizada na Figura 63, em que foram destacados os “pontos brancos” (prováveis carbonetos) do fundo cinza (matriz) através do *software* Fiji – ImageJ [Gomes, 2001].



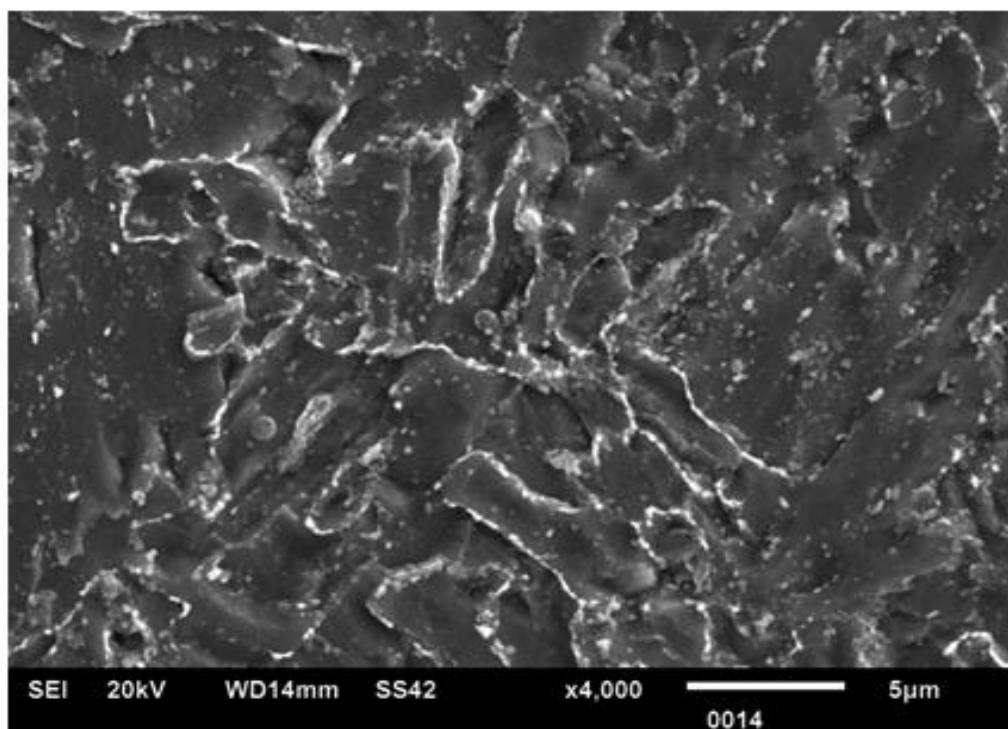


Figura 10. Aspecto microestrutural da ZTA central da junta reparada, amostra com duplo reparo, obtida por MEV operando no modo elétrons secundários, aumento de 4000x.

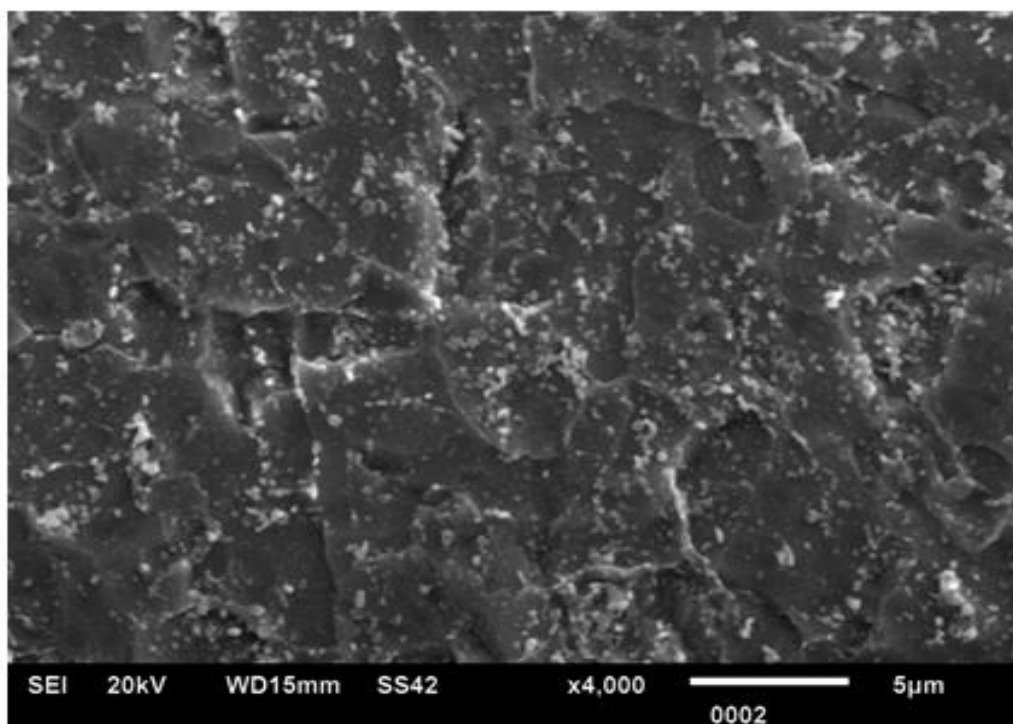


Figura 11. Aspecto microestrutural da ZTA que não sofreu influência do reparo, amostra com duplo reparo, obtida por MEV operando no modo elétrons secundários, aumento de 4000x.



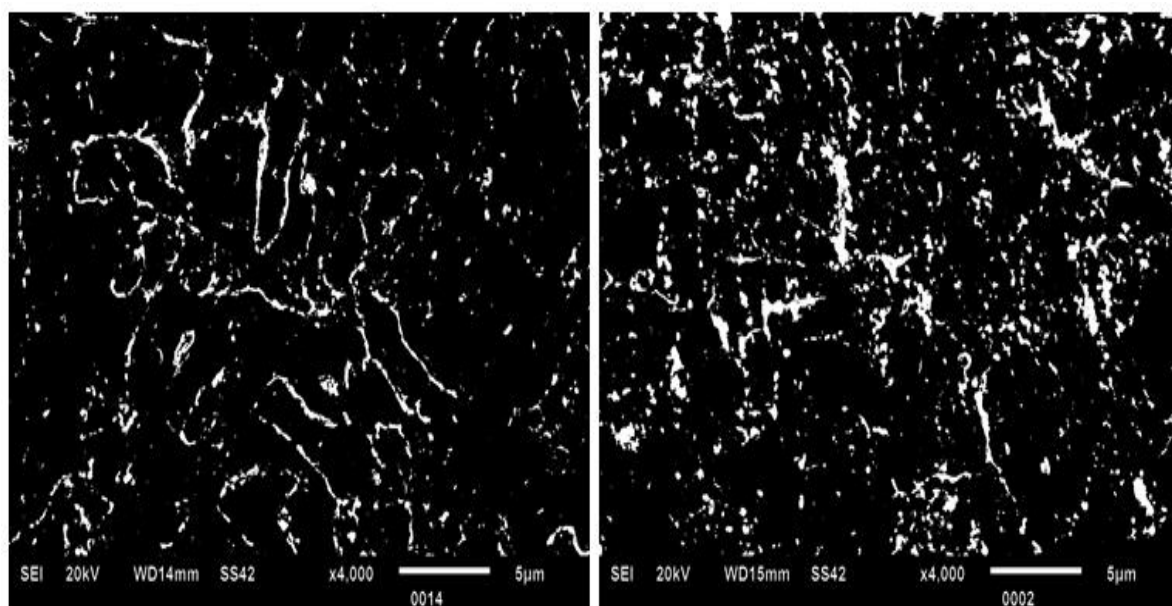


Figura 12. Imagens das Figuras 61 e 62 que foram submetidas ao processamento digital de imagens para mostrarem apenas os “pontos claros” ou carbonetos: observa-se uma diferença (análise qualitativa) da densidade de carbonetos na ZTA central da junta reparada, (esquerda) em comparação com a ZTA que não sofreu influência do reparo (direita).

A mesma comparação e procedimentos de processamento digital de imagens foram feitos para a Figura 64, entre as imagens da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB e a ZTA que não sofreu influência do reparo, e o resultado mostrou que as duas regiões apresentaram aspectos parecidos, e que a densidade de prováveis carbonetos parece ser semelhante (Figura 65).

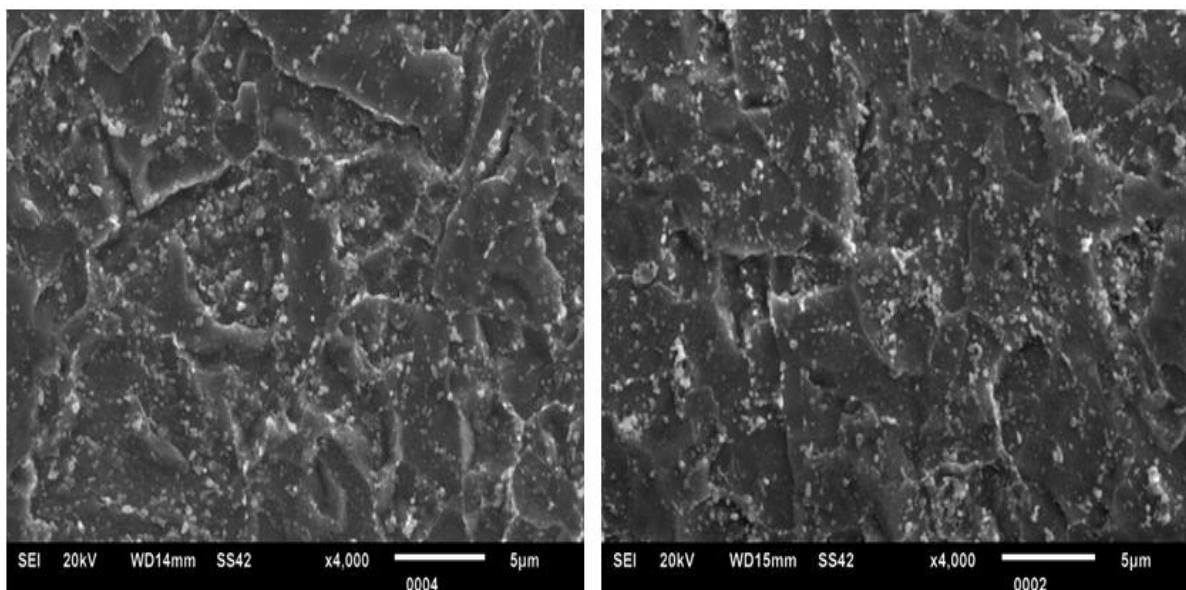


Figura 13. Aspecto microestrutural da ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB (esquerda) em comparação com a ZTA que não sofreu influência do reparo (direita), aumento de 4000x.

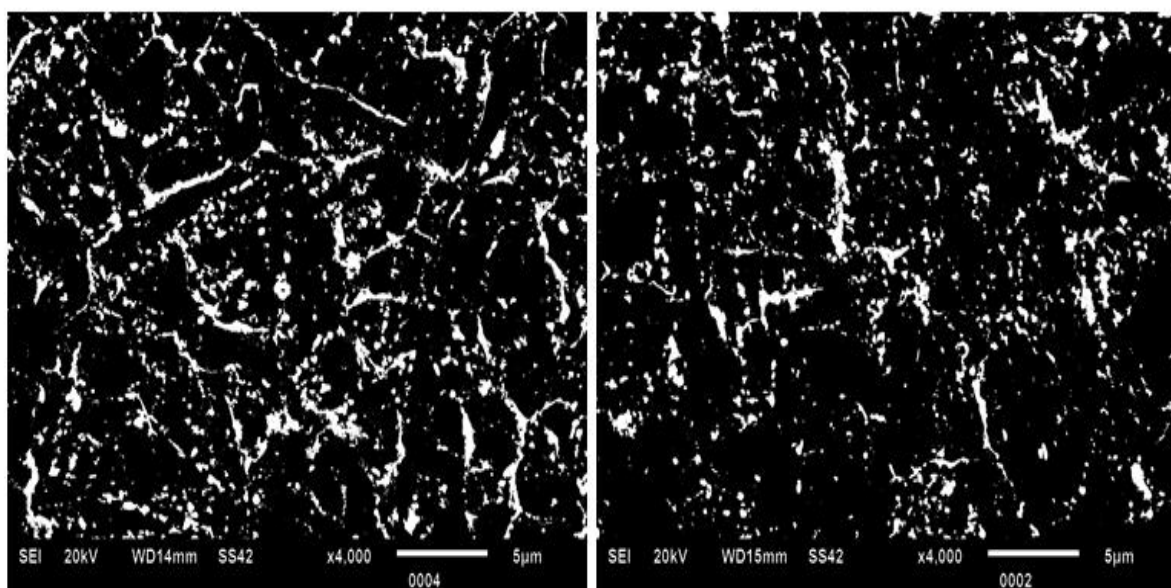


Figura 14. Densidades de carbonetos na ZTA entre a ZF do 2º reparo e o MB (esquerda) em comparação com a ZTA que não sofreu influência do reparo (direita).

Assim, constatou-se que diferença mais significativa ocorreu entre ZTA central ao metal de solda e ZTA que não sofreu influência do reparo (aquela entre MB e ZF do lado sem reparo).

As Figuras 66 e 67 são apresentadas para comparação dos aspectos das microestruturas nas regiões da raiz da ZF da amostra sem reparo e na raiz da ZF do 2º reparo (amostra com reparo), ambas soldadas por TIG. As Figuras 68 e 69

mostram as mesmas zonas, mas na região de enchimento soldada por Arame Tubular.

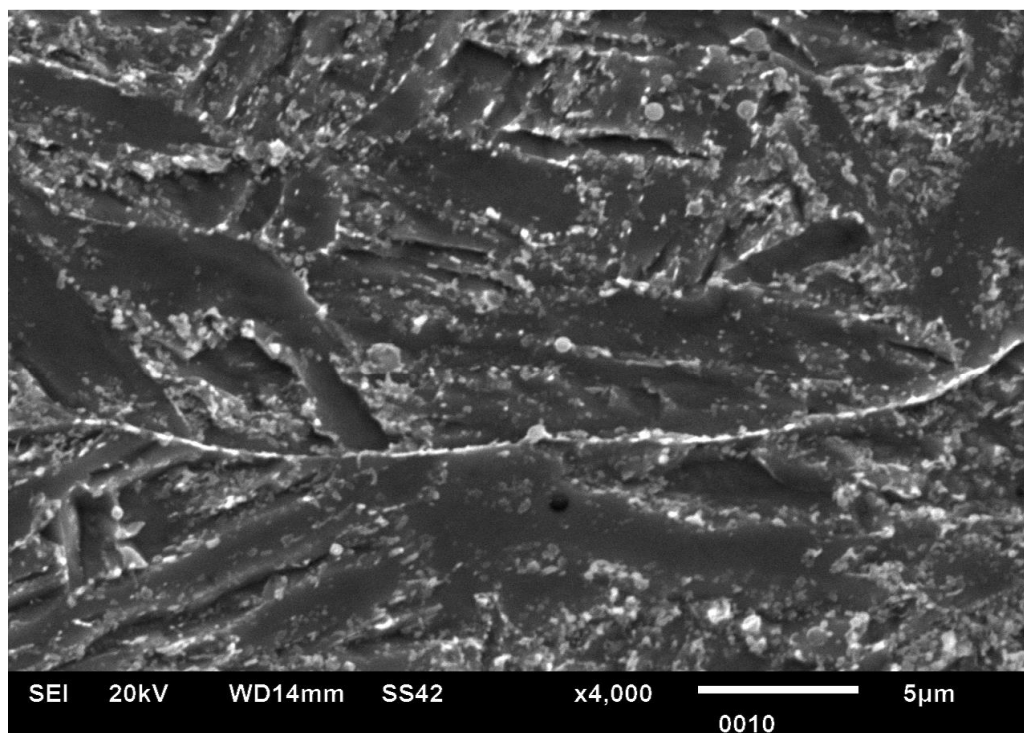


Figura 15. Raiz da ZF da amostra sem reparo soldada por TIG, aumento de 4000x.

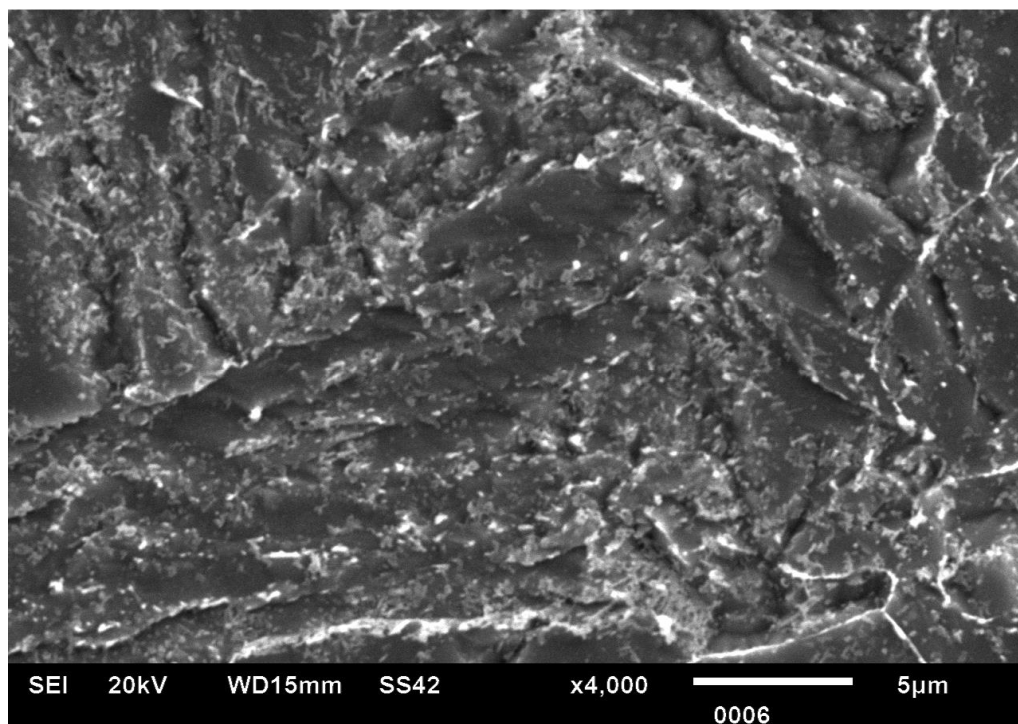


Figura 16. ZF do 2º reparo soldada por TIG, amostra com reparo, aumento de 4000x.