

4 Resultados

4.1 Produção dos CPs-Região de Análise de Cu e Mo

A amostra com adição de cobre apresentou um espectro bastante variável da porcentagem de cobre, ao longo de toda amostra. As primeiras linhas apresentaram altos teores de cobre (acima de 3%) conforme indicado na figura 36. Observa-se aqui que esta região decresce ao longo da amostra, provavelmente em função da geometria utilizada para adicionar o cobre, conforme mostrado na figura 27.

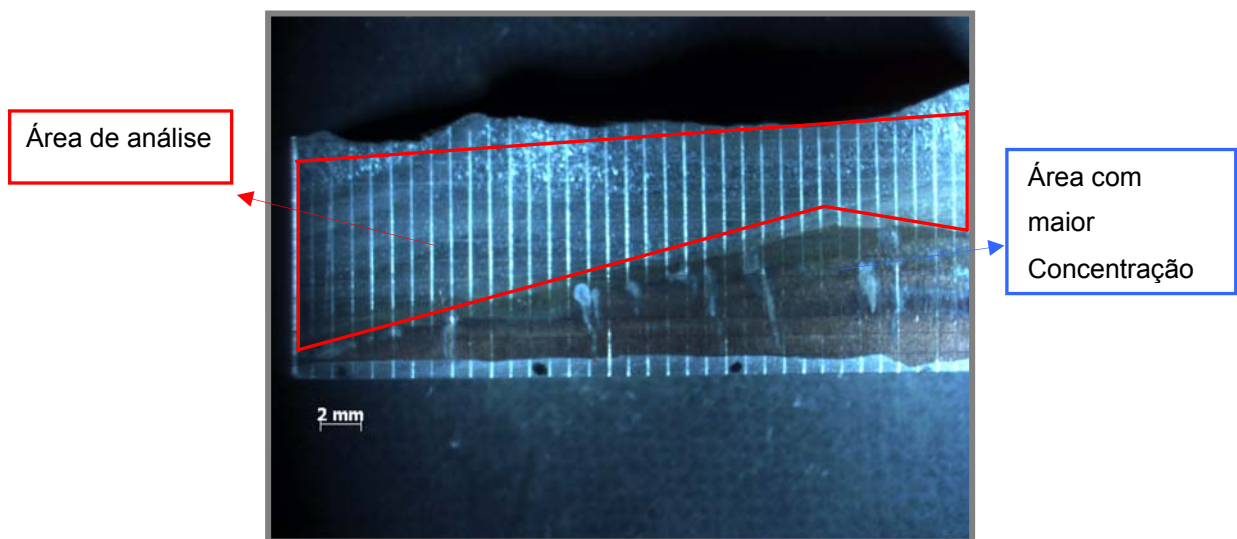


Figura 36-Superfície analisada para amostra com adição de cobre.

A amostra com adição de molibdênio apresentou uma distribuição diferente, onde as linhas localizadas mais acima da amostra (distante dos implantes) não foram detectadas a presença de molibdênio. Dessa maneira, como mostrado na figura 37, a amostra com molibdênio disponibilizou uma menor área de análise comparada à amostra com adição de cobre.

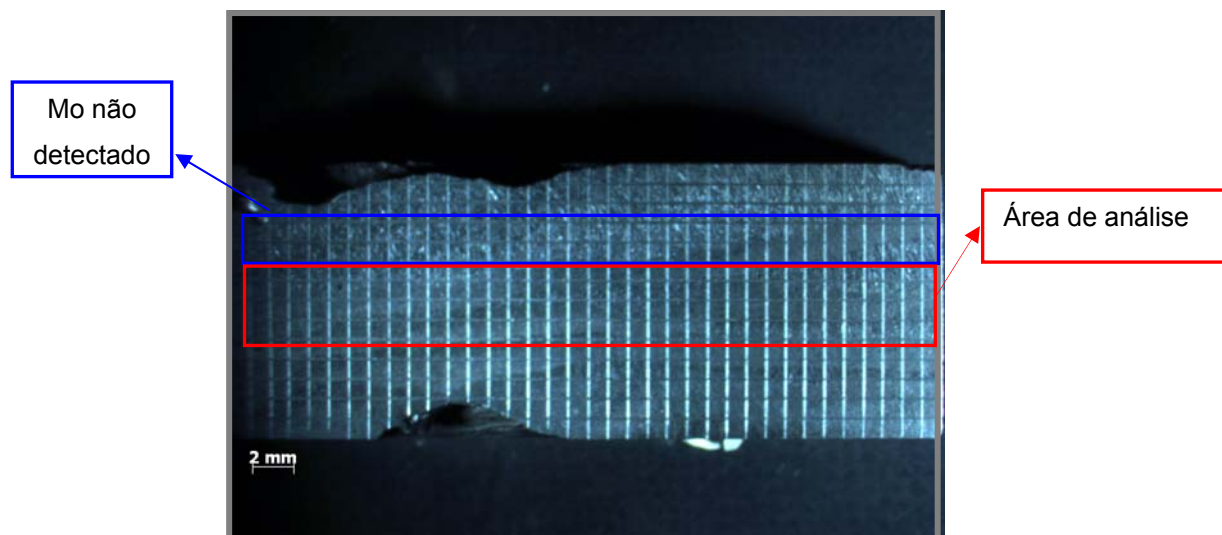


Figura 37-Superfície analisada para amostra com adição de molibdênio.

4.2 Análise por EDS

Através da análise por EDS foi possível mensurar as diferentes porcentagens obtidas com adição dos elementos Cu e Mo, além de verificar a porcentagem de níquel presente. Vale aqui lembrar que o eletrodo utilizado foi do tipo oxidante com 2%Ni, em função dos resultados positivos obtidos por Pope et al [6] em soldas subaquáticas. Era de se esperar, portanto, obter porcentagens de níquel próximas a este valor.

As tabelas 9 e 10 mostram alguns dos resultados da análise por EDS obtidos em relação às amostras com adição de Cu e de Mo, respectivamente.

Tabela 9-Resultado da análise por EDS para alguns pontos da amostra com adição de cobre.

AMOSTRA Cu		
Posição	%Cu	%Ni
CuI40d1D	0,36	2,1
CuG40d1E	0,77	1,96
CuH36d2E	0,55	2,11
CuE38d2E	1,6	1,98
CuH34d2E	0,26	2,3
CuE36d1E	1,86	2,2
CuF40d1D	0,67	2,13
CuL2d1E	1,29	2,16
CuM16d1E	0,2	2,15

Tabela 10-Resultados da análise por EDS para alguns pontos da amostra com adição de molibdênio.

AMOSTRA Mo		
Posição	%Mo	%Ni
MoD19d1D	2,45	1,21
MoE19d1E	1,92	0,63
MoG32d1E	0,35	1,93
MoC12d2E	0,48	2,0
MoE24d1E	0,5	2,3
MoH35d2E	0,3	2,2
MoD18d1E	1,4	1,2
MoE23d1E	0,7	2,11
MoG33d2D	0,4	2,15

Através dos resultados mostrados na tabela 9 observa-se que a amostra com adição de Cu apresentou porcentagens de níquel bastante próximas a 2%, independente da porcentagem encontrada para o cobre. Em relação à amostra de molibdênio (tabela 10) a porcentagem de níquel variou muito. Os pontos destacados da tabela 10 mostram que, em geral, quando houve maior quantidade de níquel, ou seja, em torno de 2%, a quantidade de Mo encontrada foi menor do que 1% e quando esta era maior, a quantidade de Ni era menor que 2%. Nas regiões mais próximas ao implante, por exemplo, o teor de molibdênio encontrado, em geral, era maior que 1%, mas, em contrapartida, o teor de Ni era inferior a 2%.

As figuras 38 e 39, relativas à amostra com adição de cobre e molibdênio, respectivamente, demonstram exatamente o que foi explicado acima, ou seja, para a amostra com adição de Cu o teor de níquel se manteve numa faixa constante ($\approx 2\%$), em contrapartida, para amostra com adição de Mo apenas alguns pontos se mantiveram nesta faixa.

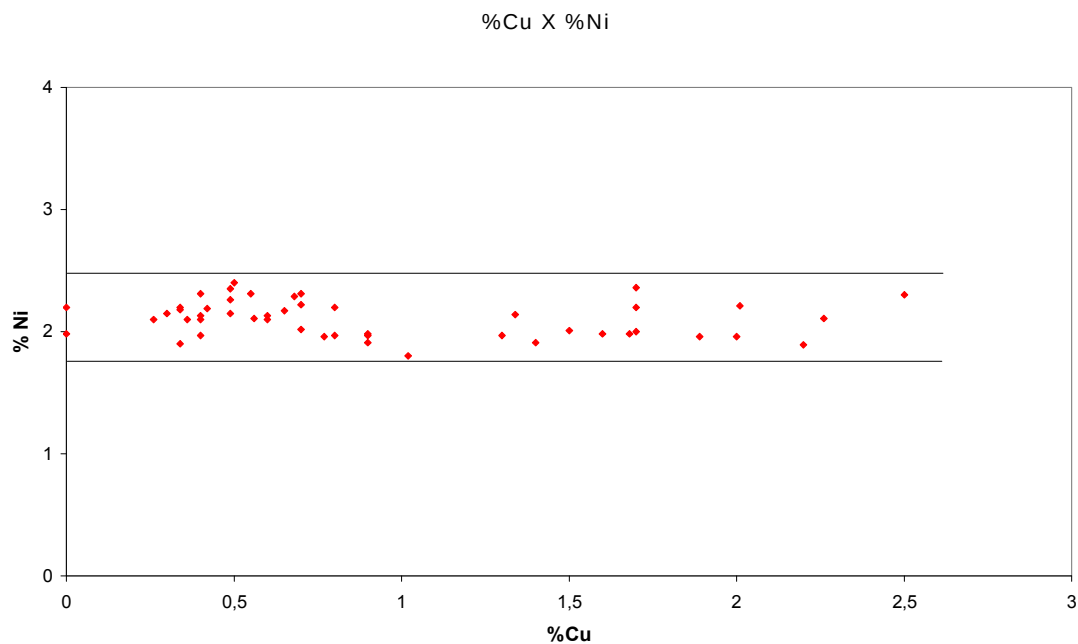


Figura 38- Gráfico mostrando a variação do teor de Ni em relação às diferentes porcentagens de Cu obtidas.

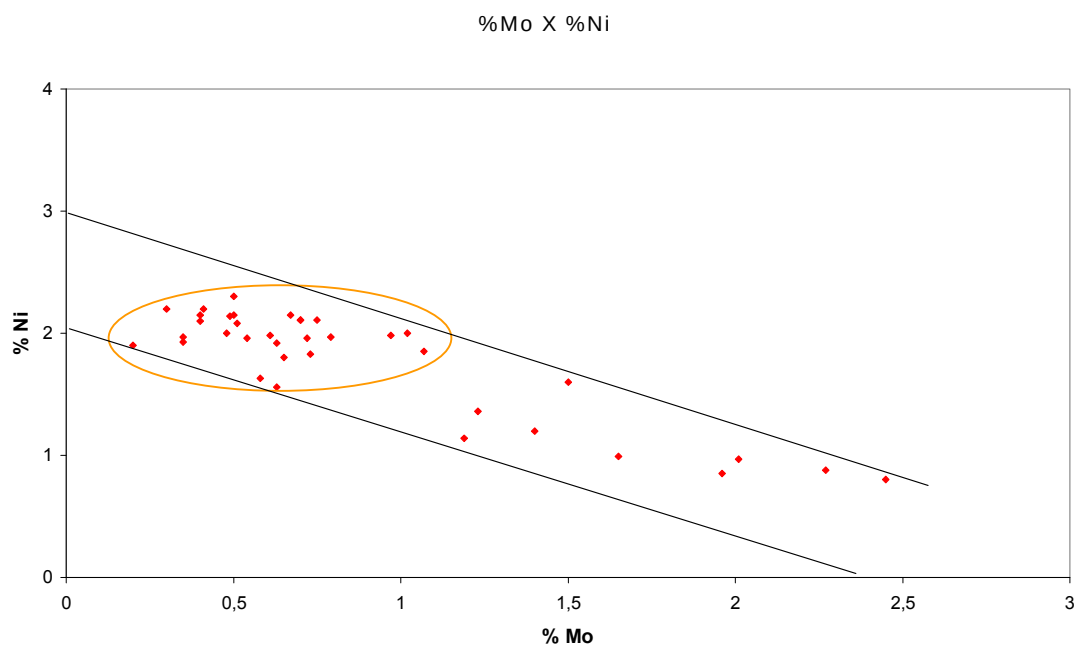


Figura 39- Gráfico mostrando a variação do teor de Ni em relação às diferentes porcentagens de Mo obtidas.

Em função da maior dispersão apresentada pela amostra de Mo foi necessário fazer uma seleção de pontos de maneira a encontrar regiões em que a quantidade de níquel estivesse próxima a 2% (área circulada na figura 39), já

que esse era o objetivo do trabalho, como mencionado anteriormente. Devido a isso, os pontos selecionados para análise apresentaram teores de molibdênio inferiores a 1,1%. As figuras 40 e 41 mostram o mapeamento dos pontos utilizados para análise das amostras com adição de Cu e Mo, respectivamente. As tabelas com todos os resultados analisados encontram-se no apêndice.

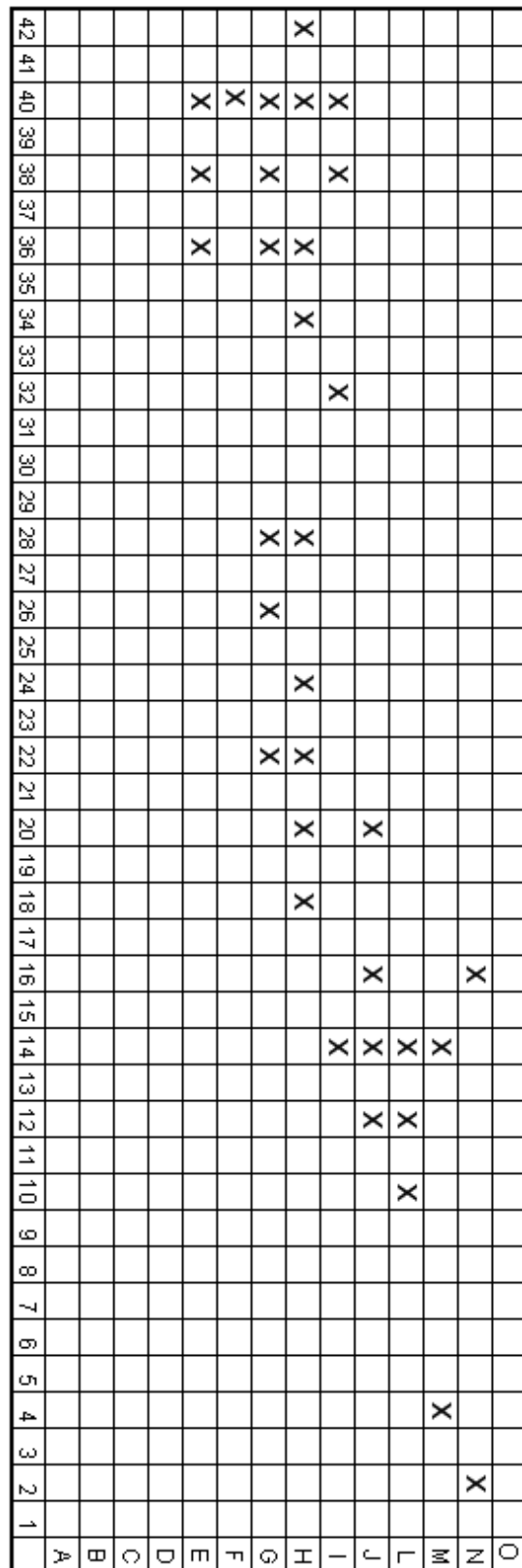


Figura 40-Mapeamento dos pontos utilizados para análise da amostra com adição de Cu.

[illegible]

Figura 41-Mapeamento dos pontos utilizados para análise da amostra com adição de Mo.

4.3

Ensaio de Microdureza na Região de Grãos Finos

As tabelas 11 e 12 mostram os resultados obtidos no ensaio de microdureza Vickers realizado com uma carga de 1kg na região de grãos finos para amostra com adição de Cu e Mo, respectivamente. Por apresentar comportamentos distintos, a tabela de cobre foi dividida em dois grupos: os que apresentaram teores menores ou iguais a 1% de cobre e aqueles com teores de cobre maiores do que este valor. Através da análise das tabelas é possível avaliar que a amostra de molibdênio apresentou maiores valores de dureza comparada a amostra de cobre e este aumento foi crescente com o aumento do teor de molibdênio. Para teores de 1% de Mo foi obtido uma microdureza de 210HV. A amostra com adição de cobre para faixa de até 1% não apresentou aumento de dureza, ou seja, os pontos medidos apresentaram durezas próximas a 160HV. A partir desta porcentagem foi possível observar um aumento de 14%. Com 2,5%Cu foi obtido valor de dureza igual a 183HV.

Tabela 11-Resultados de microdureza na região de grãos finos obtidos da amostra com adição de cobre.

Amostra Cu		
Localização	%Cu≤1	Microdureza (HV)
CuJ20d1D	0,7	159
CuJ20d1E	0,9	159
CuJ12d2E	0,6	157
CuG26d1E	0,7	159
CuG28d2D	0,5	162
CuG22d1E	0,7	160
CuH22d2D	0,8	161
Cui14d2E	0,65	160
CuH20d2D	0,3	158
CuH20d2E	0,34	158
Cui38d1D	0,4	158
Cui40d1D	0,36	159
CuG40d1E	0,77	163
CuF40d3D	0,9	159
CuH34d3E	0,49	161
CuH36d3D	0,49	157
CuH36d2D	0,49	158
CuH36d2E	0,55	158
CuH34d2E	0,26	157
CuH34d2D	0,34	157
CuH34d1D	0,42	161
CuH34d1E	0,56	161
CuE38d1D	1,02	160
CuF40d3D	0,9	159
Localização	%Cu>1	Microdureza (HV)
CuJ14d1D	2,5	183
CuJ16d1E	2	180
CuL10d1D	1,5	174
CuL10d1E	1,7	174
CuL12d2D	1,4	169
CuL12d2E	1,34	169
CuM4d1E	1,7	173
CuE40d1D	1,68	170
CuE38d3D	2,01	176
CuE40d3D	1,7	170
CuE36d3D	2,2	176
CuE36d2D	2,26	177
CuE38d1D	1,02	160
CuE38d2E	1,6	169

Tabela 12-Resultados de microdureza na região de grãos finos obtidos da amostra com adição de molibdênio.

Amostra Mo		
Localização	% Mo	Microdureza (HV)
MoC12d1E	0,67	191
MoC12d1D	0,51	191
MoC12d2E	0,48	187
MoC12d2D	0,61	187
MoD24d1D	0,85	197
MoD24d2D	0,79	196
MoH30d1D	0,5	186
MoE32d1E	0,97	202
MoG32d1E	0,35	185
MoG32d1D	0,49	185
MoE23d1E	0,7	194
MoD27d1D	0,41	188
MoD28d1D	0,2	180
MoC26d1E	1,07	210
MoC29d1D	1,02	207

Esta tendência é melhor observada nas figuras 42, 43 e 44 que apresentam a relação entre microdureza e teores medidos dos elementos com intervalo de confiança de 95%. Estas curvas foram construídas considerando para zero de porcentagem de ambos os elementos Mo e Cu a um valor de microdureza igual a 160HV. Este valor foi obtido da média de pontos de microdureza realizados em uma amostra soldada nas mesmas condições e com o mesmo eletrodo, ou seja, eletrodo do tipo oxidante com adição de 2%Ni, mas sem adição de Cu ou Mo. Observa-se que para amostra com adição de cobre até 1% a microdureza difere muito pouco da amostra sem adição de cobre (com 2%Ni). Esta diferença será mais significativa com quantidades de cobre acima de 1,5%. Já para amostra com adição de molibdênio (Figura 43) ocorre uma significativa diferença, de 160HV para 185HV, com adição de 0,35%Mo. E a partir deste valor um contínuo crescimento dos valores de microdureza.

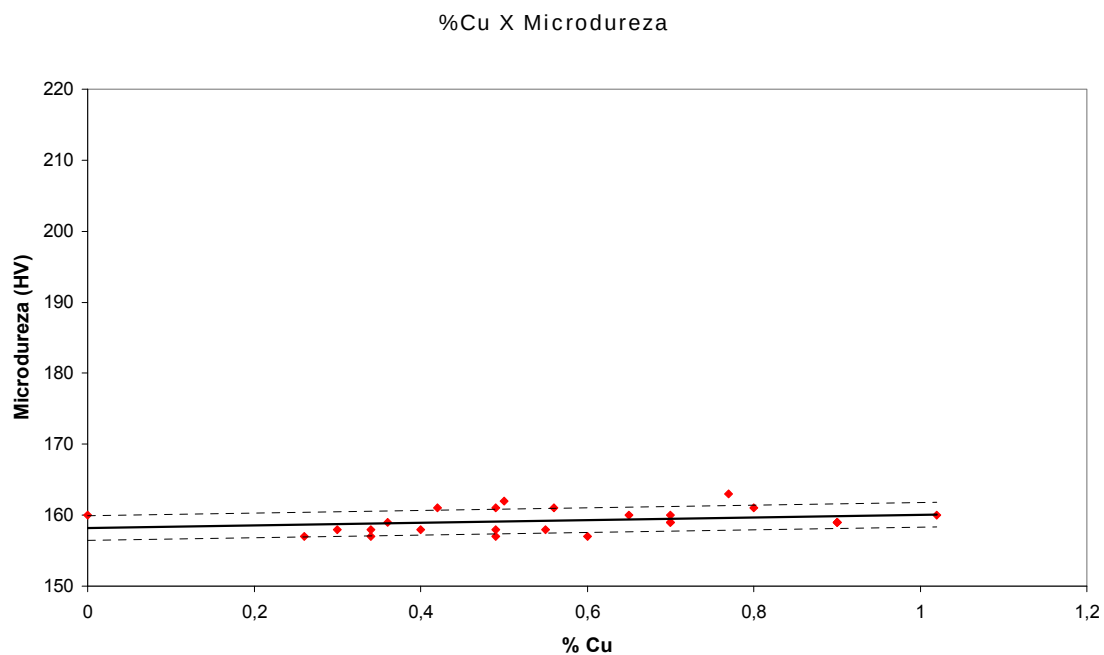


Figura 42-Gráfico mostrando a relação da microdureza na região de grãos finos com porcentagem de cobre para teores menores ou iguais a 1%.

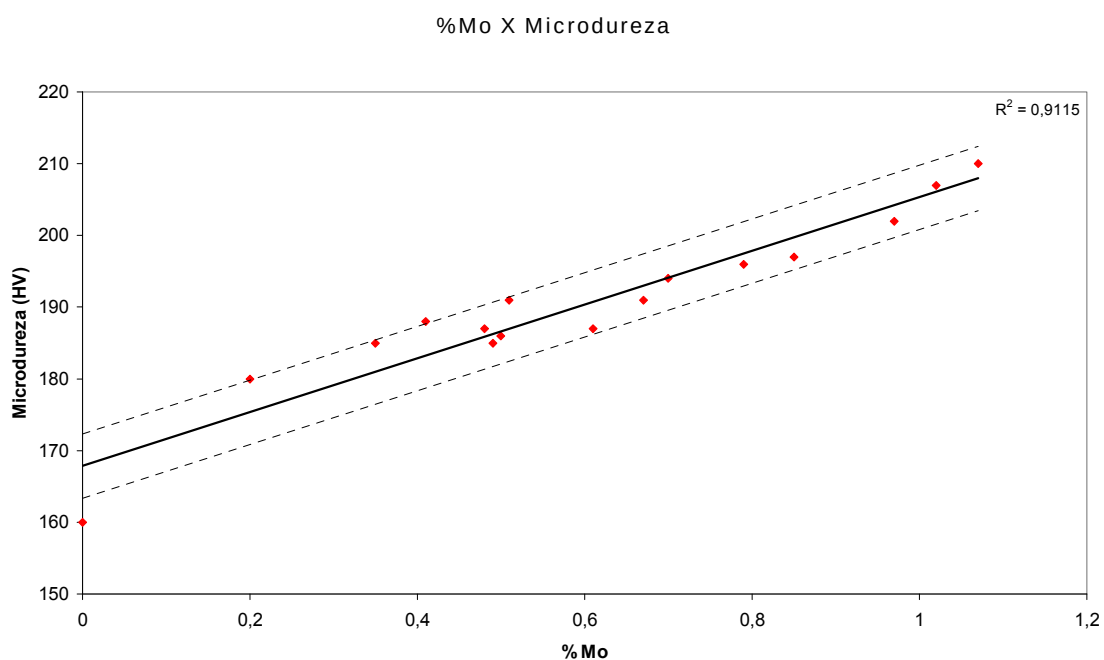


Figura 43-Gráfico mostrando a relação da microdureza na região de grãos finos com porcentagem de molibdênio para teores até 1%.

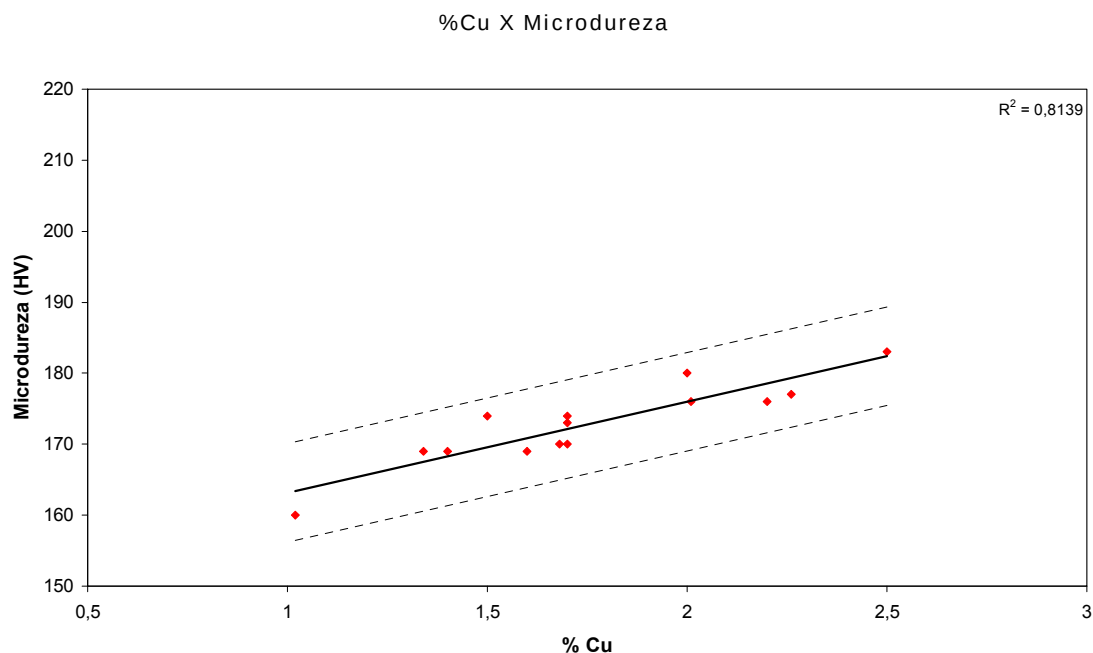


Figura 44-Gráfico mostrando a relação da microdureza na região de grãos finos com porcentagem de cobre para teores maiores do que 1%.

4.4 Tamanho de Grão na Região de Grãos Finos

Os resultados obtidos pela medição de tamanho de grão em relação às porcentagens de cobre e molibdênio encontram-se nas tabelas 13 e 14 respectivamente. Para a construção da tabela, bem como do gráfico, referente à amostra com adição de cobre, dividiu-se o resultado para teores abaixo e acima de 1%Cu, mesmo procedimento explicado no item 4.3. Através da análise da tabela 13 juntamente com o gráfico apresentado na figura 45 é possível observar que com o aumento do teor de cobre para valores menores ou iguais a 1% houve um pequeno aumento no tamanho de grão. A partir deste teor, o tamanho de grão se manteve praticamente constante. Isto pode ser observado na figura 47, que mostra o gráfico da relação da porcentagem de cobre com o tamanho do grão para teores de cobre maiores do que 1%. Os menores valores de tamanho de grão para amostra com adição de cobre foram obtidos com porcentagens de cobre na faixa de 0,3-0,4%. Com 0,3% de cobre o tamanho de grão medido foi de 3,67 μ m.

Em relação à amostra com adição de molibdênio é possível observar através da tabela 14 e da figura 46 que maiores teores de molibdênio causaram

um refino de grão. O menor tamanho de grão obtido para amostra de molibdênio foi de $3,91\mu\text{m}$ com 0,85%Mo.

Tabela 13-Resultados da média do tamanho de grão na região de grãos finos em relação às diferentes porcentagens de cobre.

Amostra com adição de Cu		
Localização	%Cu$\leq$1	Média TG (μm)
CuJ20d1D	0,7	5,34
CuJ20d1E	0,9	5,47
CuG26d1E	0,7	5,38
CuG28d2D	0,5	4,77
CuH22d2D	0,8	5,71
CuI14d2E	0,65	4,93
CuH28d1D	0,4	4,59
CuH20d2D	0,3	3,67
CuH20d2E	0,34	3,72
CuI38d1D	0,4	4,21
CuI40d1D	0,36	3,86
CuF40d3D	0,9	5,27
CuG36d3E	0,8	5,18
CuG38d3D	0,6	5,14
CuG40d3E	0,4	3,93
CuH24d3E	0,68	4,63
CuH34d3E	0,49	4,69
CuH36d3D	0,49	4,69
CuH40d3D	0,34	4,43
CuI38d3E	0,4	3,85
CuH36d2D	0,49	4,73
CuH36d2E	0,55	4,93
CuH34d2D	0,34	4,5
CuH34d1E	0,56	4,63
CuF40d3D	0,9	5,27
Localização	%Cu$>$1	Média TG (μm)
CuJ14d1D	2,5	4,93
CuJ16d1E	2	4,92
CuL10d1D	1,5	5,59
CuL10d1E	1,7	4,93
CuL12d2D	1,4	5,29
CuL12d2E	1,34	4,93
CuM4d1E	1,7	4,69
CuE40d1E	1,89	5,56
CuE40d1D	1,68	5,45
CuE38d3D	2,01	4,95
CuE40d3D	1,7	5,45
CuH18d3D	1,3	5,43
CuE36d3D	2,2	4,95
CuE36d2D	2,26	5,74
CuE38d2E	1,6	4,71

Tabela 14- Resultados da média do tamanho de grão na região de grãos finos em relação às diferentes porcentagens de molibdênio.

Amostra com adição de Mo		
localização	% Mo	Média TG (μm)
MoC12d1E	0,67	4,2
MoC12d2E	0,48	4,76
MoC12d2D	0,61	4,7
MoD24d1D	0,85	3,91
MoH30d1D	0,5	4,81
MoG32d1E	0,35	5,12
MoG32d1D	0,49	4,92
Mo E23d1D	0,54	4,64
MoD27d1D	0,41	5,26
MoD27d1E	0,35	5,13
MoD28d1D	0,2	5,99
MoE24d1E	0,5	4,77
MoG33d2D	0,4	5,38
MoH35d2E	0,3	5,55
MoE22d1E	0,75	4,43
MoC29d1D	1,02	3,95
MoE19d1E	0,72	4,17
MoE19d1D	0,63	4,33
MoE19d2E	0,4	5,03
MoE19d2D	0,73	4,43
MoE13d1E	0,7	4,65

%Cu X TG

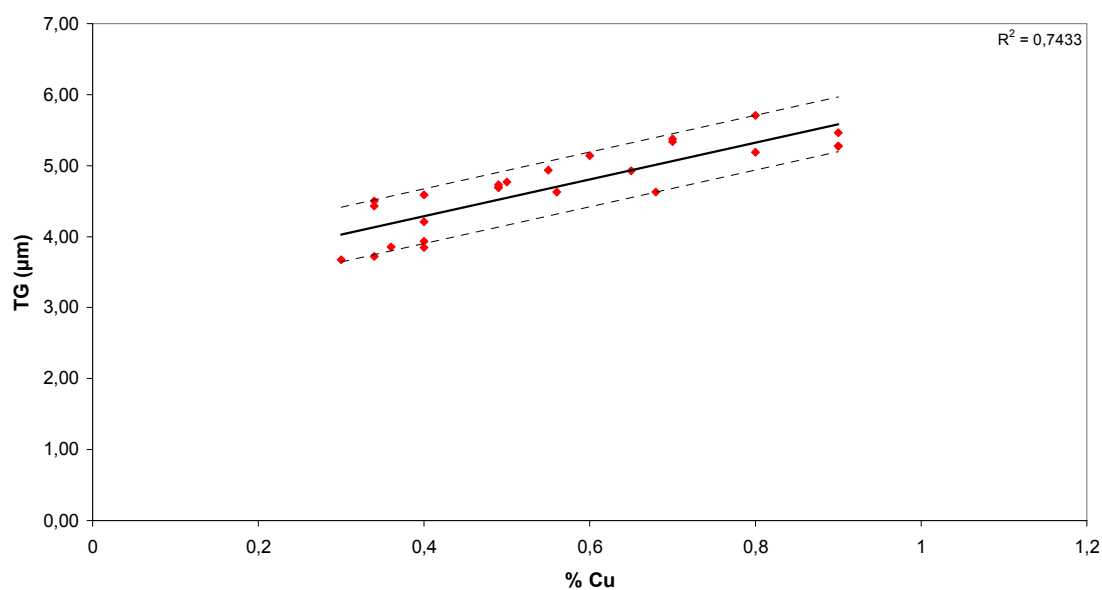


Figura 45- Gráfico mostrando a relação entre a quantidade de cobre (para teores menores ou iguais a 1%) e o tamanho de grão na RGF.

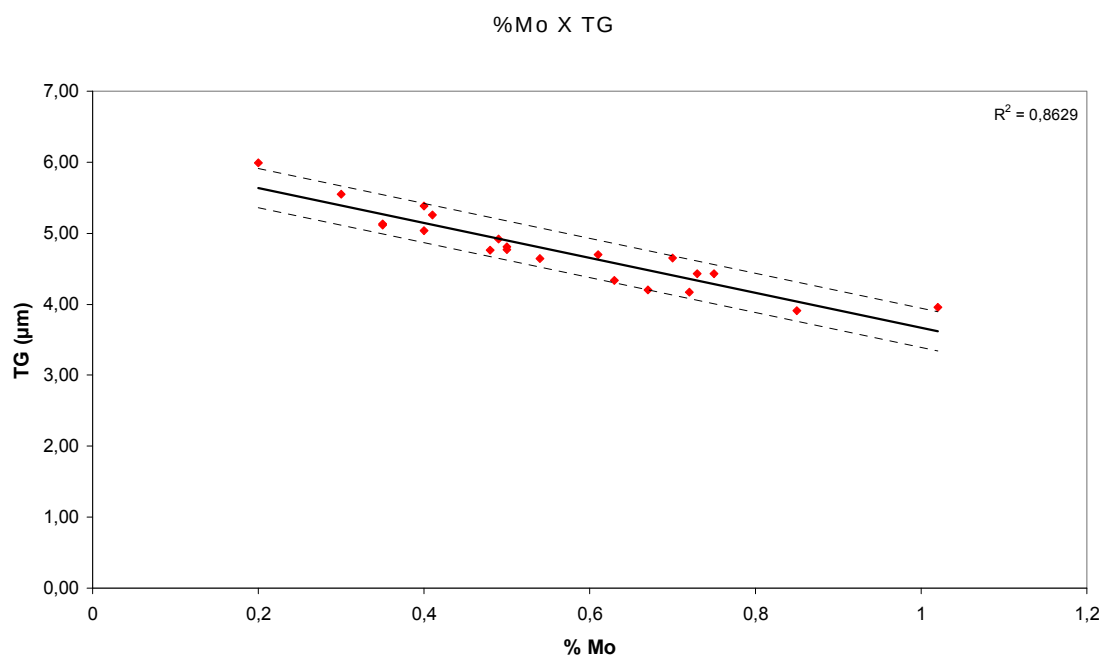


Figura 46- Gráfico mostrando a relação entre a quantidade de molibdênio e o tamanho de grão na RGF.

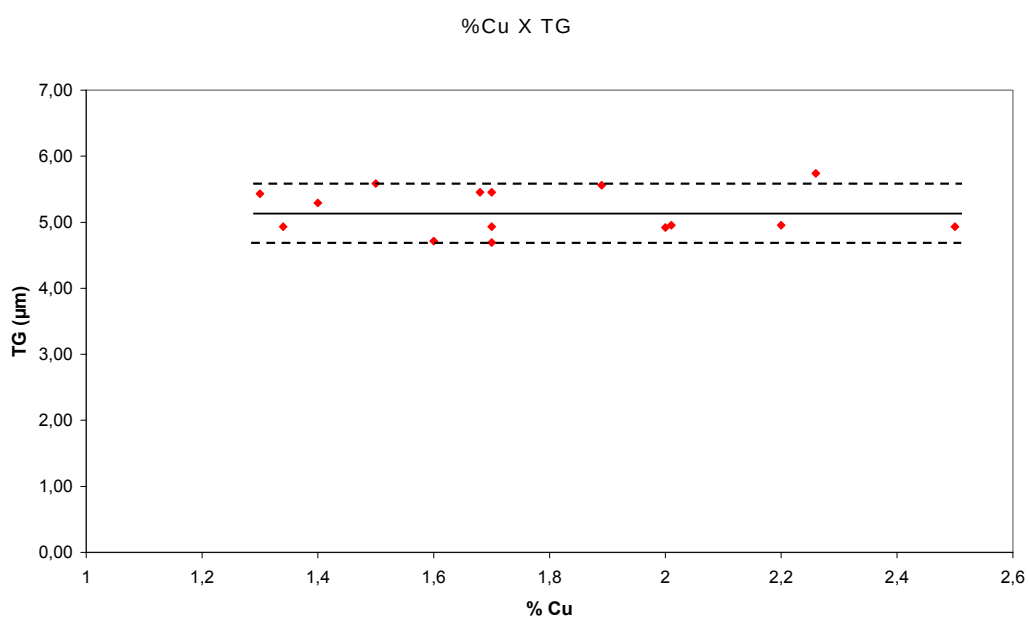


Figura 47-Gráfico mostrando a relação entre a quantidade de cobre (para teores >1) e o tamanho de grão na RGF.

4.5

Análise Microestrutural

A tabela 15 mostra os resultados da quantificação da região colunar, região de grãos grosseiros e grãos finos para as amostras com adição de cobre e molibdênio.

Tabela 15-Quantificação da região colunar (RC), região de grãos grosseiros (RGG) e região de grãos finos (RGF) para amostras com adição de a) Cu e b) Mo.

Amostra	%RGF	%RC	%RGG
a) Cu	66,5	25,8	7,7
b) Mo	53,2	37,6	9,2

4.5.1

Análise Microestrutural da Região de Grãos Finos

As figuras 48, 49 e 50, realizadas por microscopia ótica, mostram a microestrutura ferrítica da região de grãos finos das amostras com adição de cobre e molibdênio com os respectivos teores encontrados de cada elemento.

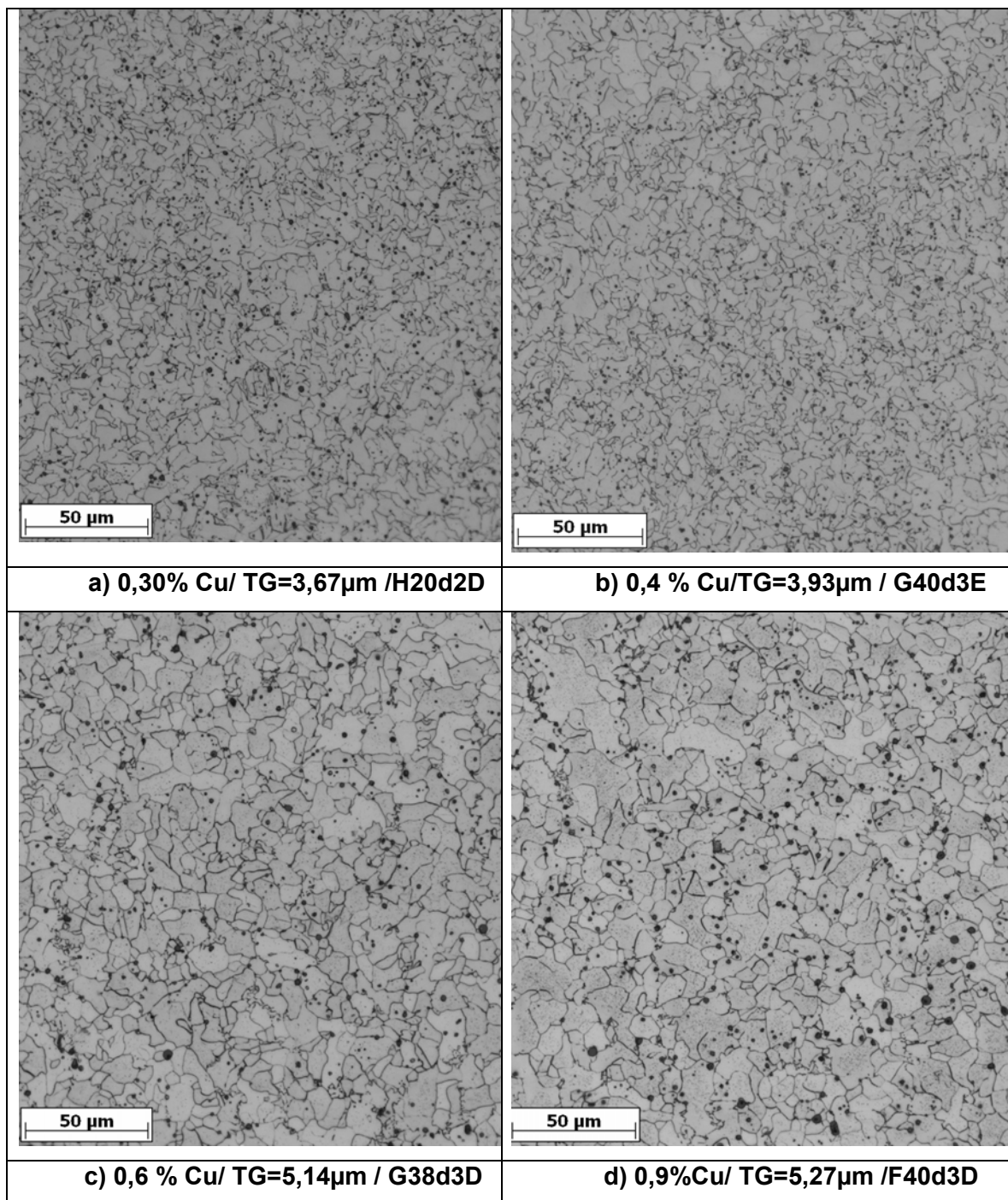


Figura 48-Microestruturas das regiões de grãos finos da amostra com adição de cobre, para teores de cobre até 1%. Aumento 500X.

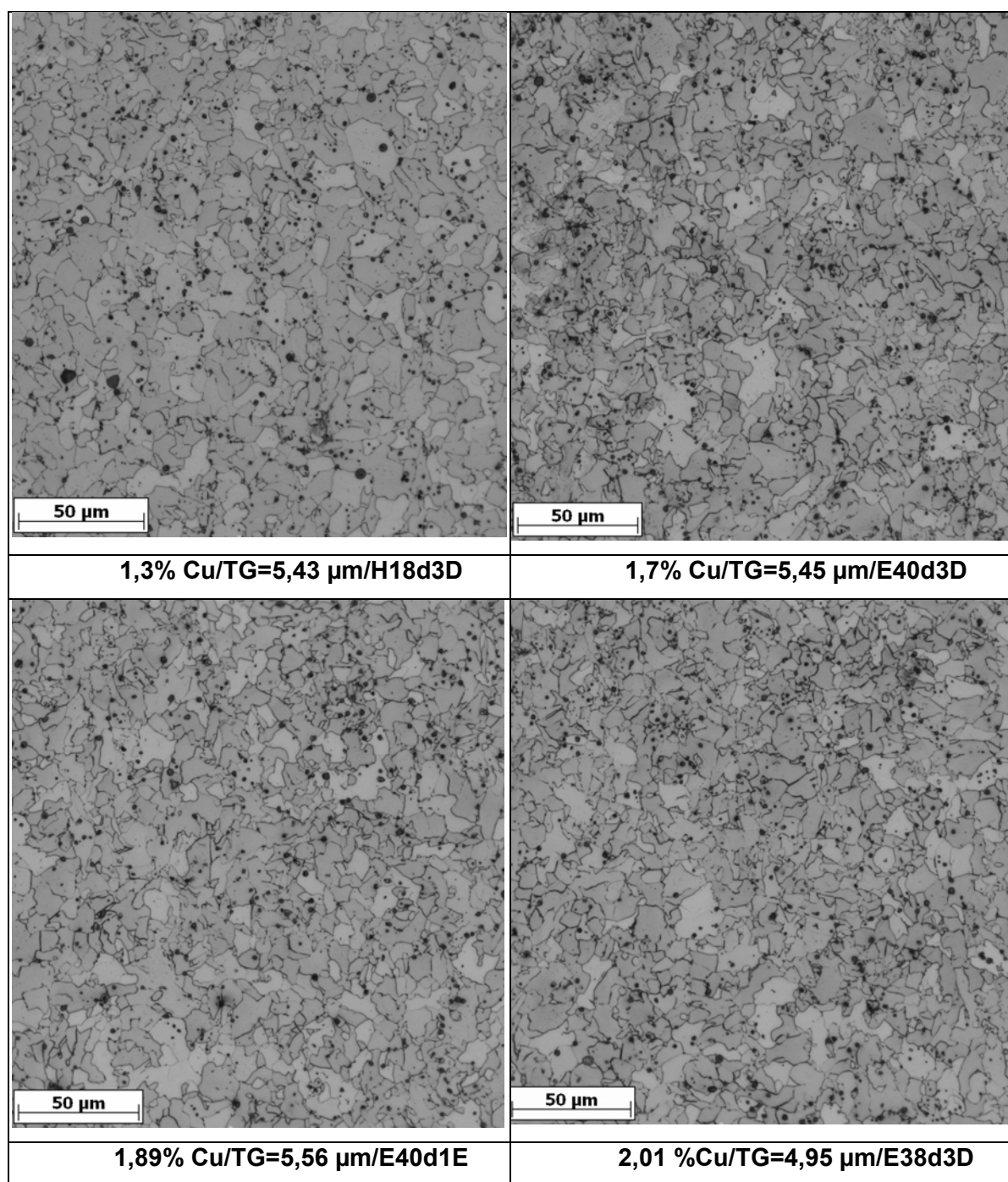


Figura 49- Microestruturas das regiões de grãos finos da amostra com adição de cobre, para teores de cobre acima de 1%. Aumento 500X.

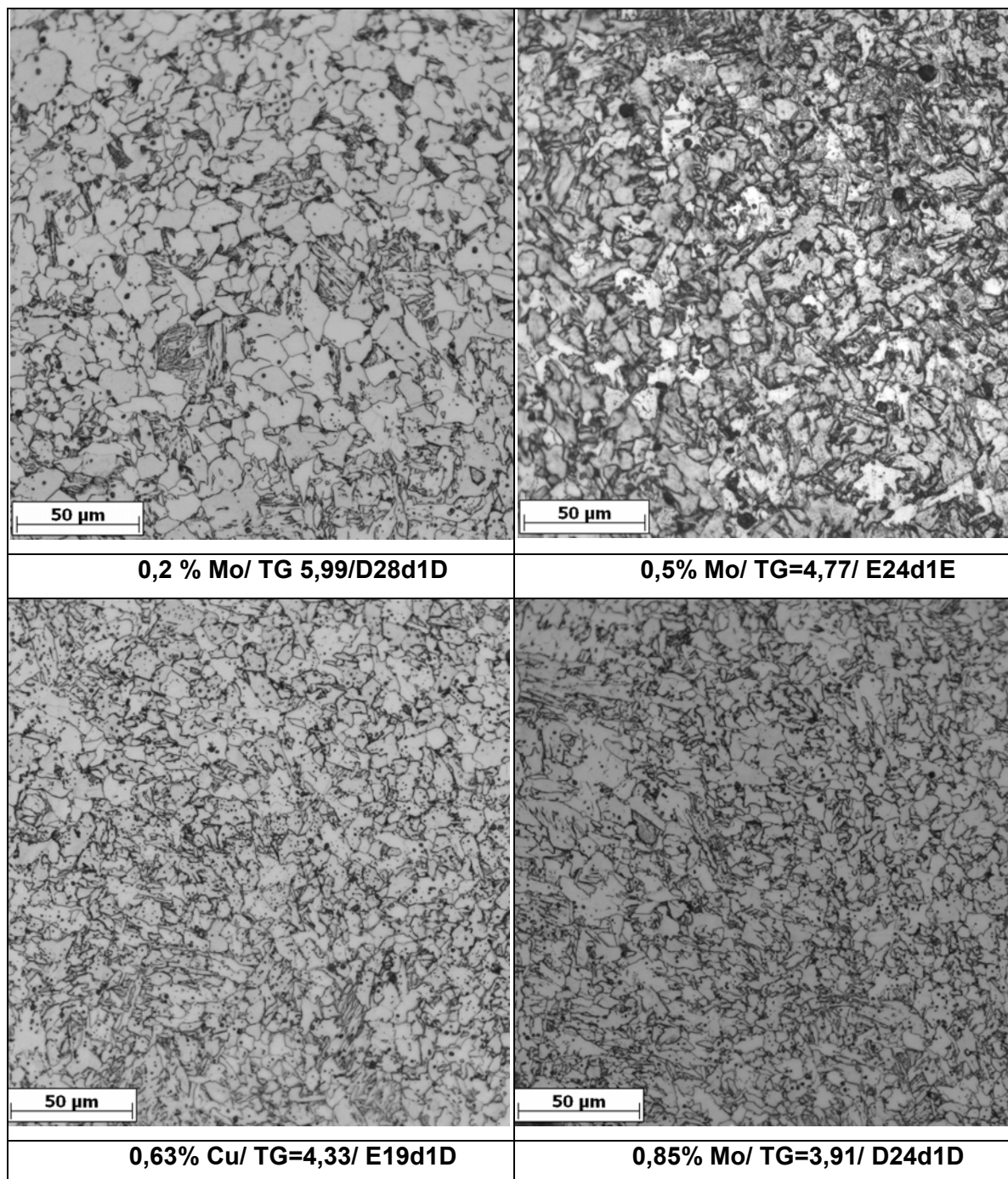


Figura 50-Microestruturas das regiões de grãos finos da amostra com adição de molibdênio, para teores de molibdênio até 1%. Aumento 500X.

4.5.2

Análise Microestrutural da Região Colunar

Através da análise por microscopia ótica, com aumento de 500X, e seguindo a metodologia do IIW [12] foi possível identificar na região colunar de ambas amostras os seguintes microconstituintes: Ferrita com Segunda Fase,

alinhada FS(A) e não-alinhada FS(N), Ferrita Primária, de contorno de grão PF(G) e intragranular PF(I) e alguma Ferrita Acicular (AF). As figuras 51 e 52, que representam a amostra de cobre, e as figuras 53 e 54, referentes à amostra de molibdênio, demonstram exemplos destas microestruturas após ataque metalográfico realizado com Nital 2%.

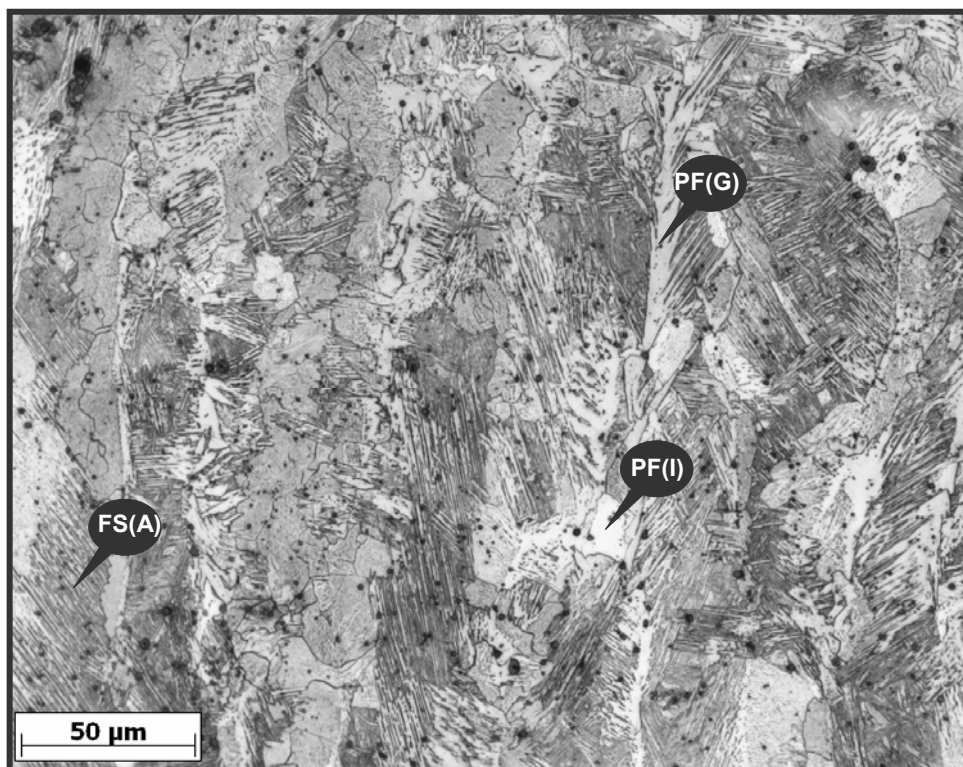


Figura 51-Microestrutura do metal de solda da amostra com adição de cobre apresentando diferentes morfologias da ferrita como, por exemplo, PF(G), PF(I) e FS(A). Aumento de 500X.

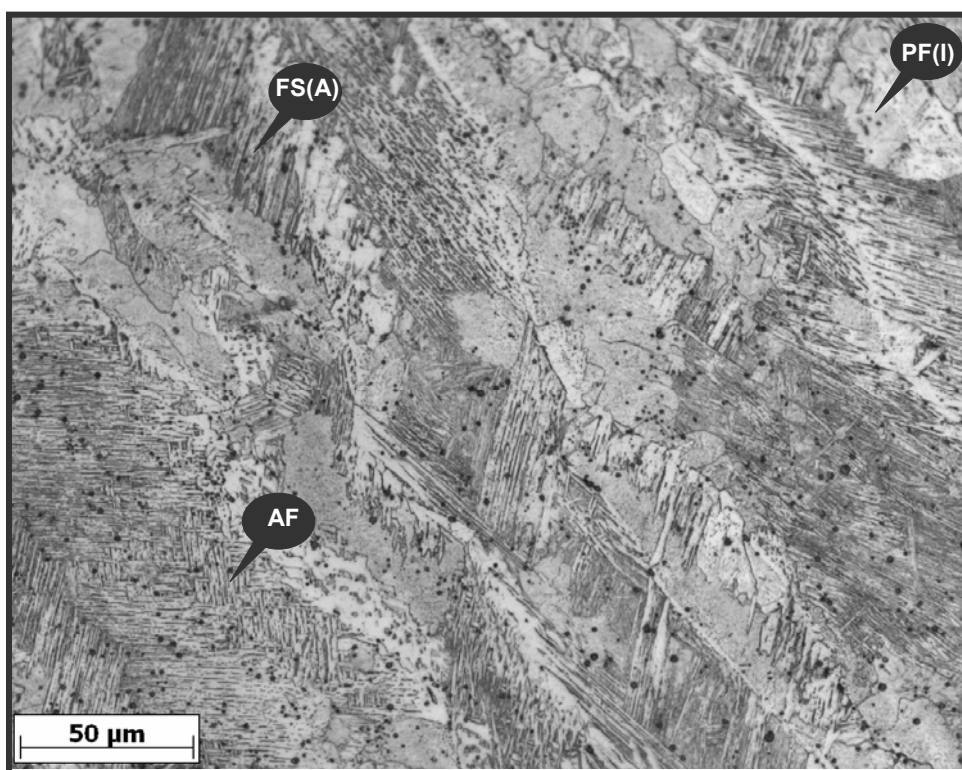


Figura 52-Microestrutura do metal de solda da amostra com adição de cobre apresentando diferentes morfologias da ferrita como, por exemplo, PF(G), AF e FS(A). Aumento de 500X.

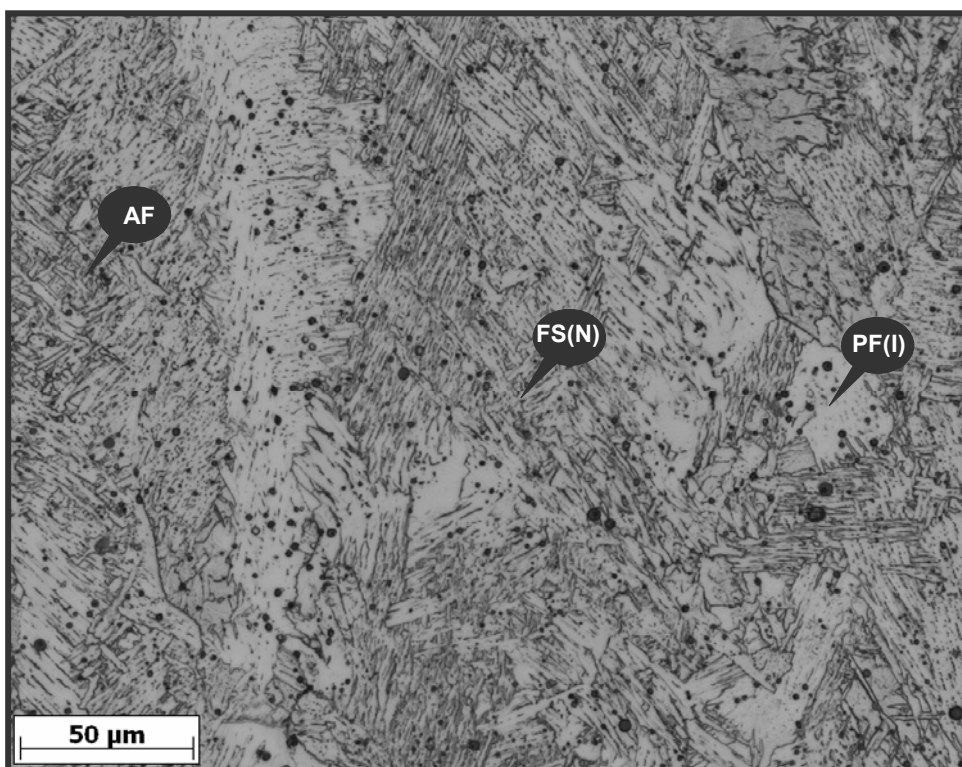


Figura 53-Microestrutura do metal de solda da amostra com adição de molibdênio apresentando diferentes morfologias da ferrita como, por exemplo, PF(I), AF e FS(N). Aumento de 500X.

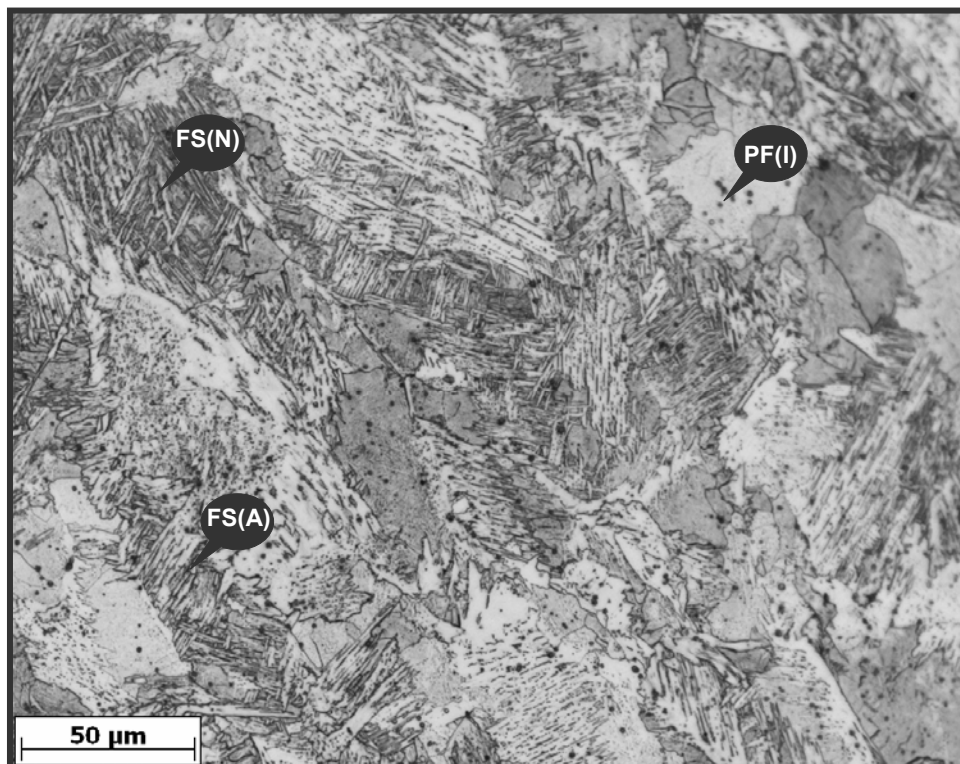


Figura 54-Microestrutura do metal de solda da amostra com adição de molibdênio apresentando diferentes morfologias da ferrita como, por exemplo, PF(I), FS(A) e FS(N). Aumento de 500X.

Foram realizadas algumas medidas da largura do grão da região colunar e de microdureza das amostras com adição de Cu e Mo, e os resultados apresentados nas tabelas 16 e 17, respectivamente. Para ambas as amostras, o aumento do teor do elemento (Cu ou Mo) ocasionou uma diminuição na largura dos grãos colunares, embora essa diminuição se mostre um pouco diferente para as referidas amostras, como pode ser visto nas figuras 55 e 56. A amostra com adição de Cu apresentou uma largura de grão colunar de 35μm para teor de cobre de 0,31% e este diminuiu para 23,8μm quando a quantidade de cobre era de 0,86%. A amostra com adição de molibdênio apresentou um tamanho de grão da ordem 45μm para teores de Mo abaixo de 0,3%. Esta medida diminuiu para 22,6μm com 0,6%Mo.

Quanto aos resultados de microdureza, a amostra com adição de cobre não mostrou diferenças significativas com aumento dos teores de cobre (Tabela 16). Para amostra com adição de molibdênio, entretanto, ocorreu um aumento de 185HV para 228HV, quando o teor de molibdênio aumentou de 0,2% para 1,2%Mo.

Tabela 16-Resultados de microdureza e da média da largura do grão colunar em relação ao teor de cobre.

Localização	%Cu	Largura do grão colunar (μm)	Microdureza (HV)
CuL32d1E	0,31	35	215
CuM9d1E	0,4	32,5	–
CuN3d1E	0,81	28,3	229
CuM2d1E	0,86	23,8	226
CuM5d1E	1,47	20,5	230

Tabela 17- Resultados de microdureza e da média da largura do grão colunar em relação ao teor de molibdênio.

Localização	%Mo	Largura da RC (μm)	Microdureza (HV)
MoH31d1E	0,2	45,8	185
MoF30d1E	0,25	47,5	192
MoH23d1E	0,3	45,8	–
MoE11d1E	0,6	22,6	222
MoF12d1E	0,8	22,6	214
MoG19d1E	1,2	23,8	228

%Cu X Largura RC

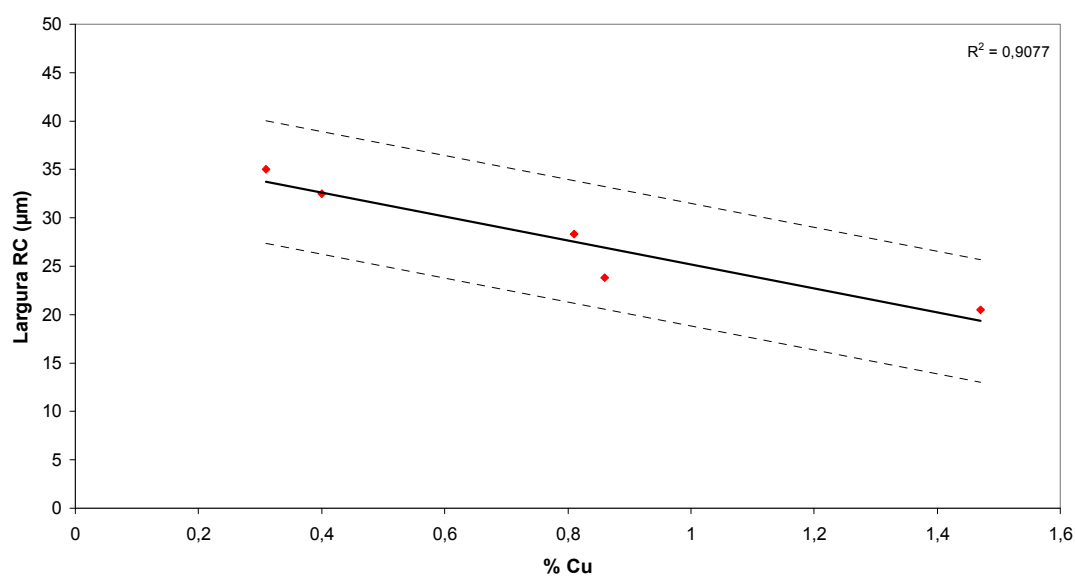


Figura 55-Gráfico mostrando a relação entre a porcentagem de cobre e a largura dos grãos colunares para amostra com adição de cobre.

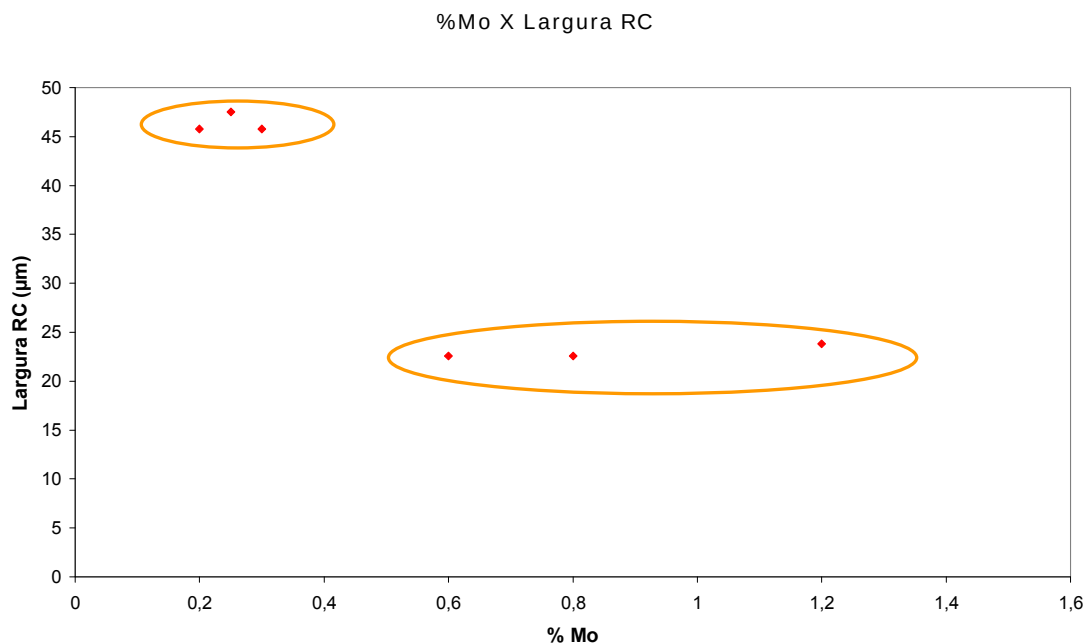


Figura 56- Gráfico mostrando a relação entre a porcentagem de molibdênio e a largura dos grãos colunares para amostra com adição de molibdênio.

As figuras 57 e 58, realizadas por microscopia ótica, mostram a microestrutura da região colunar das amostras com adição de cobre e molibdênio, com duas diferentes medidas da largura de grão encontradas.

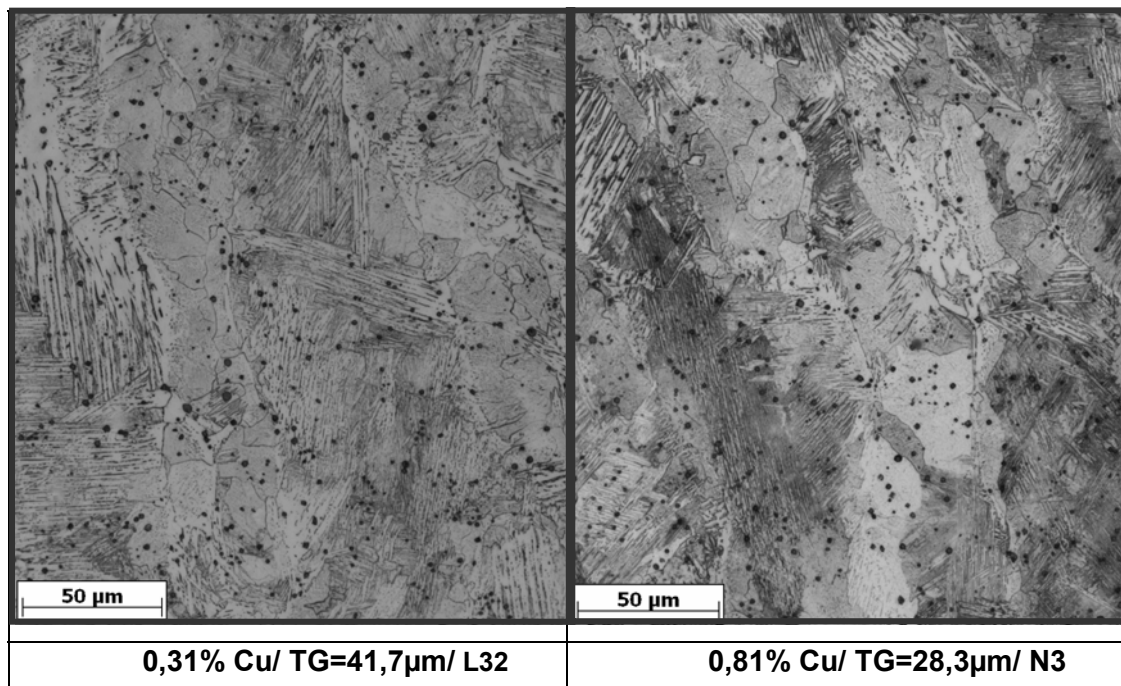


Figura 57-Microestrutura da região colunar da amostra com adição de cobre com teores de 0,31 e 0,81%Cu. Aumento 500X.

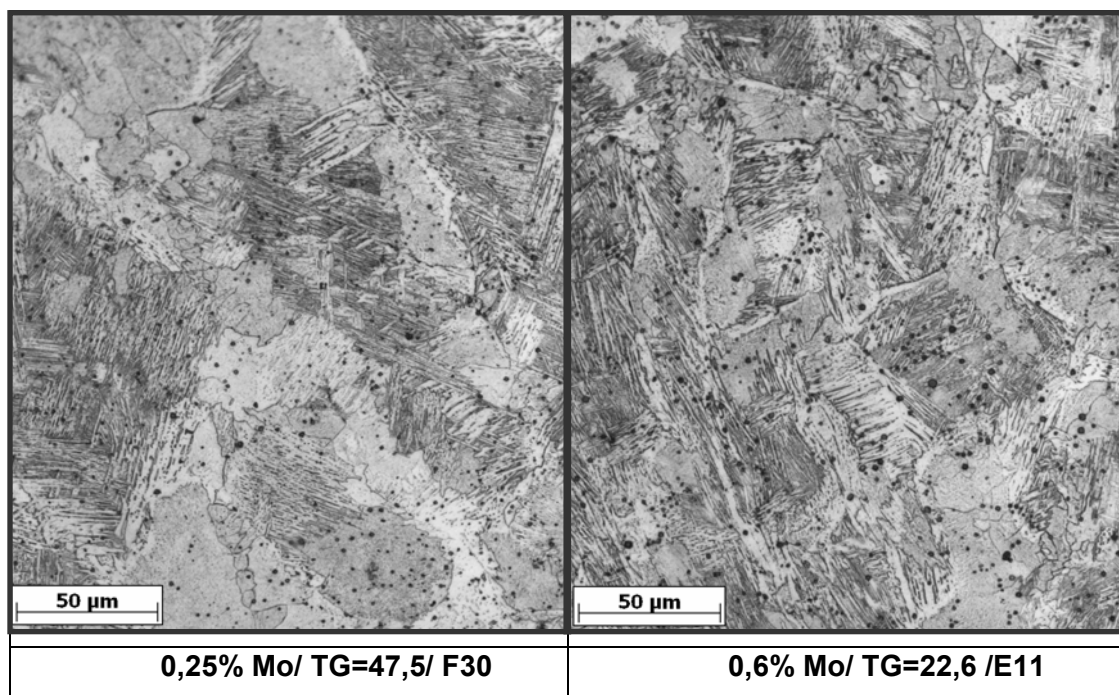


Figura 58- Microestrutura da região colunar da amostra com adição de molibdênio com teores de 0,25 e 0,6%Mo. Aumento 500X.