

4 Resultados

4.1. Primeiro Experimento

A corrida produzida no primeiro experimento objetivou uma composição química com vanádio mínimo de 0,2%. Amostras dos seis tarugos utilizados foram analisadas quimicamente e os dados estão compilados na Tabela 3. A composição dos elementos carbono e manganês são similares à do aço 1020 empregado na mesma usina na produção de vergalhão CA50 pelo processo de têmpera superficial, o que permite uma comparação entre os resultados do processo de resfriamento rápido com o processo de adição de elementos microligantes. Os valores estão em percentual de peso exceto para o Nitrogênio, que está em ppm.

Tarugo	Bitola do vergalhão fabricado (mm)	Composição Química											Ceq
		C	Si	Mn	S	P	Cu	Ni	Cr	Sn	V	N2	
1	10,0	0,230	0,170	0,760	0,008	0,022	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	30,0	0,3767
2	10,0	0,230	0,170	0,760	0,010	0,023	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	43,0	0,3767
3	6,3	0,240	0,180	0,790	0,009	0,022	0,030	0,030	0,030	0,001	0,220	36,0	0,3925
4	6,3	0,240	0,170	0,750	0,009	0,021	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	28,0	0,3850
5	8,0	0,240	0,170	0,750	0,009	0,022	0,010	0,030	0,030	0,001	0,220	36,0	0,3842
6	8,0	0,230	0,170	0,760	0,009	0,020	0,020	0,030	0,030	0,001	0,220	23,0	0,3767

Tabela 3: Composição química das amostras retiradas das bobinas de vergalhão.

Os ensaios de propriedades mecânicas apresentaram resultados que comprovam o atendimento a norma NBR-7480 para o produto CA50. Observando o Gráfico 9, com a dispersão dos resultados de limite de escoamento, é possível verificar que para todos os diâmetros nominais produzidos não houve valores abaixo de 510 MPa de LE.

O alongamento médio ficou em 15,8% onde a norma exige 10% e a relação entre limite de resistência e limite de escoamento ficou em 1,4, onde para as normas mais restritas, relacionadas com vergalhões para construção em áreas com alto risco de terremotos, o especificado é mínimo de 1,25.

Os ensaios de dobramento foram realizados em amostras de todas as peças produzidas, e como o material é nervurado, as trincas tendem a ocorrer na base das nervuras. Não foram observadas trincas no ensaio de dobramento, estando o material conforme a norma NBR 7480.

O Gráfico 10 apresenta a dispersão dos resultados de limite de escoamento das amostras das barras produzidas com aço 10V20 comparadas com amostras de barras produzidas com mesmo processo e composição química semelhante, mas sem vanádio. Traçando uma reta entre as médias dos dois grupos de resultados, percebe-se que a linha cruza a faixa dos 500 MPa de limite de escoamento aproximadamente em 0,16% de vanádio, o que justifica a escolha para o segundo experimento de uma composição de vanádio em torno de 0,16% para uma das corridas produzidas.

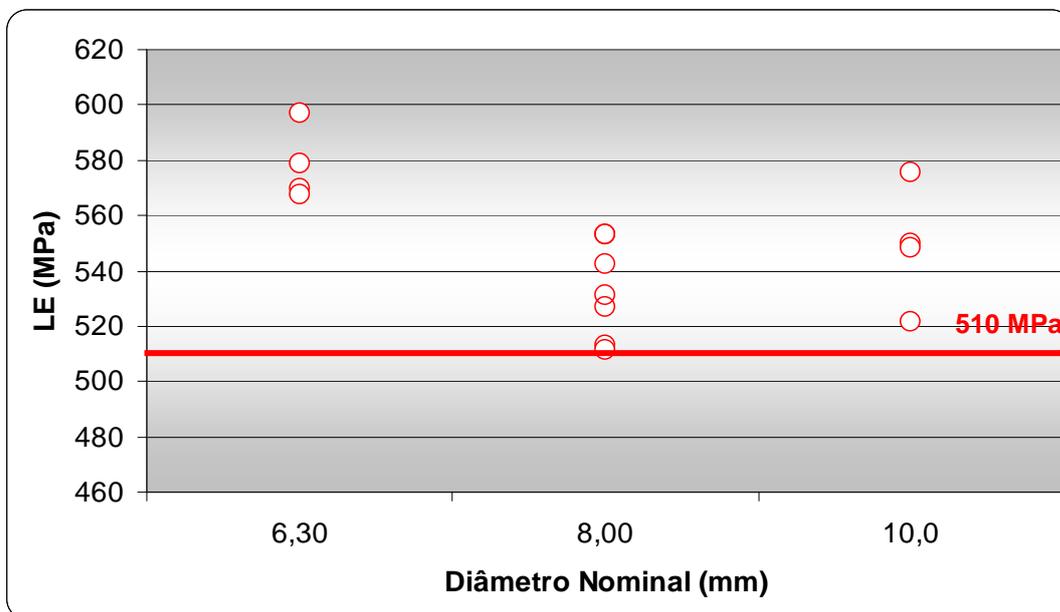


Gráfico 9: Limite de escoamento por diâmetro nominal produzido com o aço 10V20.

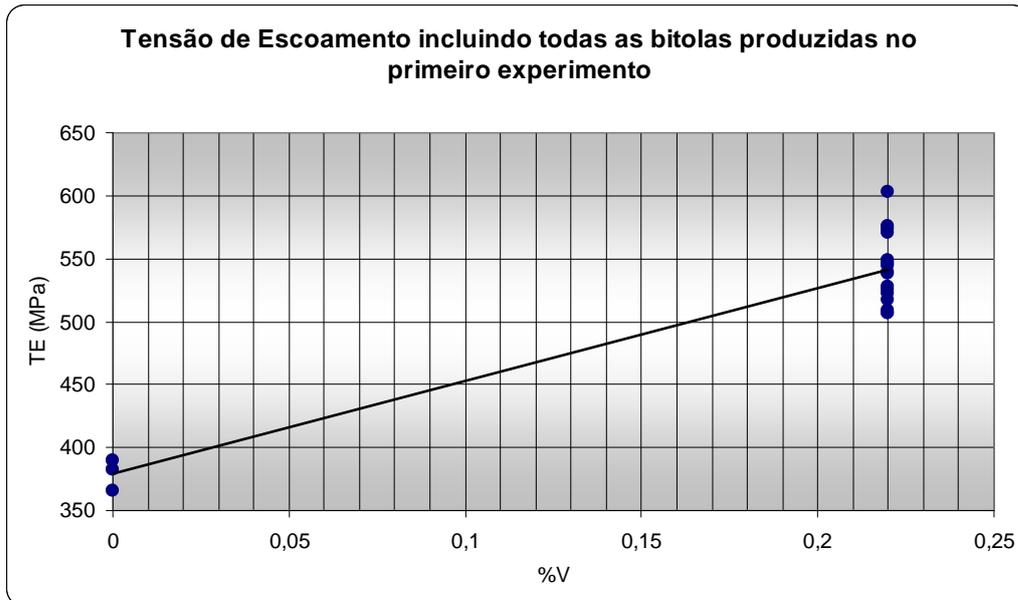


Gráfico 10: Comparação dos resultados de barras de aço com vanádio e barras de aço sem vanádio.

4.2. Segundo Experimento

As corridas produzidas para o teste se encontram na Tabela 4.

Aço	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Nb(%)	V(%)
C20V14N04	0,200	0,220	0,760	0,018	0,027	0,034	0,140
C20V15	0,190	0,180	0,720	0,018	0,023	0,002	0,149
C20V18	0,180	0,200	0,710	0,023	0,024	0,004	0,184

Tabela 4: Composição química dos lotes produzidos com adição de Nb e V.

A utilização das peças de sequência entre as corridas de aços diferentes, incluindo uma com adição combinada de nióbio e vanádio, permitiu a avaliação de valores intermediários de composição química de elementos microligantes. A análise química de cada amostra foi obrigatoriamente realizada, devido à heterogeneidade da composição química dos tarugos oriundos do lingotamento da mistura das corridas no distribuidor.

Os resultados de composição química dos rolos produzidos do sequenciamento de aço no distribuidor apresentam uma variação nos percentuais de nióbio e vanádio de acordo com o planejado (Gráfico 11).

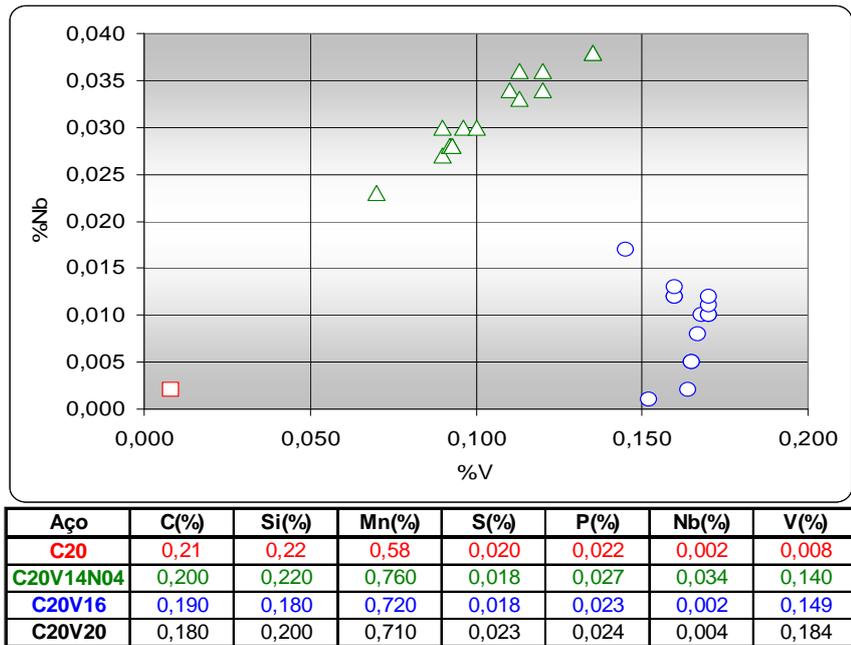


Gráfico 11: Variação do %V das amostras retiradas das extremidades dos rolos.

Os resultados de composição química das amostras retiradas durante o processo de endireitamento dos 3 lingotes de sequenciamento apresentam pontos intermediários de composição química das amostras obtidas entre as extremidades. (Gráfico 12)

A Foto 7 apresenta um exemplo da microestrutura das amostras com 0,15%V, onde foi medido pelo método de comparação o tamanho de grão entre 7 e 7,5 ASTM. Esta pesquisa não tem o objetivo de fazer a comparação dos resultados de propriedades mecânicas com tamanho de grão, pois não se percebeu diferença significativa entre o tamanho de grão das peças com aço microligado, concluindo-se então que a influência nas propriedades mecânicas se deve apenas ao endurecimento por precipitação.

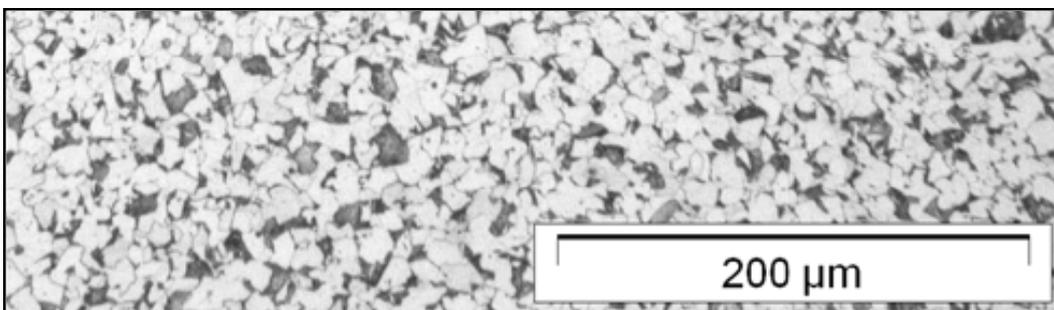
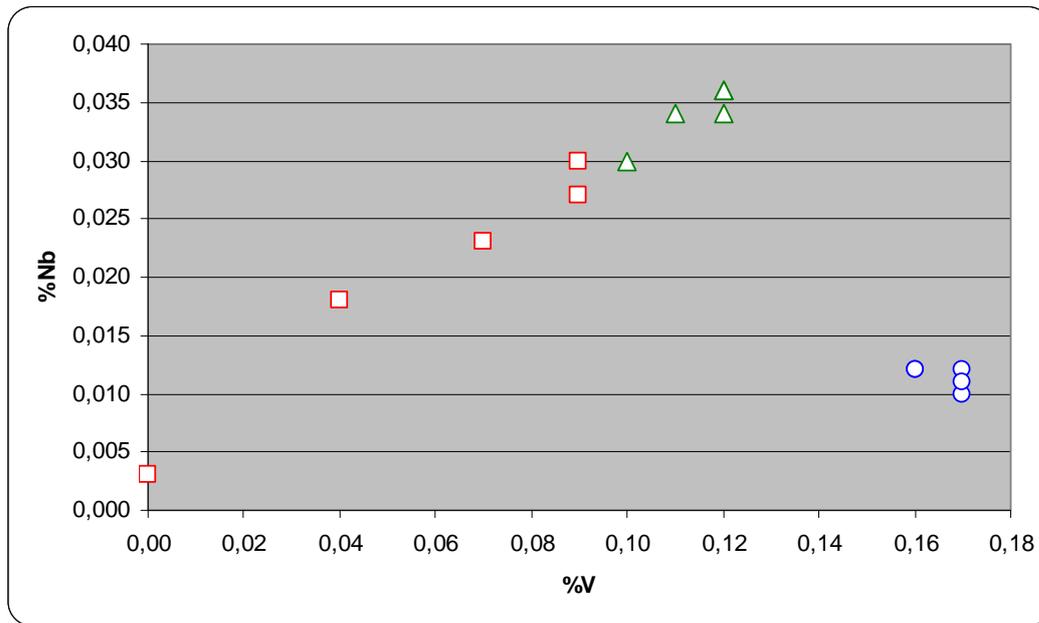


Foto 7: Seção transversal de vergalhão de aço microligado ao vanádio. Ataque Nital 2%



Lingote	Amostra	C	Si	Mn	S	P	V	Nb
1	1/5	0,200	0,250	0,610	0,019	0,026	0,000	0,003
1	2/5	0,200	0,260	0,700	0,016	0,240	0,040	0,018
1	3/5	0,200	0,260	0,730	0,016	0,027	0,070	0,023
1	4/5	0,210	0,260	0,770	0,018	0,027	0,090	0,030
1	5/5	0,210	0,250	0,760	0,021	0,032	0,090	0,027
2	1/5	0,200	0,250	0,760	0,019	0,030	0,100	0,030
2	2/5	0,210	0,270	0,790	0,016	0,025	0,120	0,034
2	3/5	0,210	0,270	0,800	0,018	0,024	0,120	0,036
2	4/5	0,210	0,260	0,780	0,019	0,030	0,110	0,034
2	5/5	0,220	0,270	0,810	0,017	0,027	0,120	0,036
3	1/5	0,200	0,230	0,810	0,019	0,025	0,170	0,010
3	2/5	0,200	0,220	0,800	0,020	0,028	0,160	0,012
3	3/5	0,200	0,230	0,820	0,018	0,026	0,170	0,012
3	4/5	0,210	0,220	0,810	0,018	0,025	0,170	0,011
3	5/5	0,190	0,220	0,800	0,020	0,026	0,160	0,012

Gráfico 12: Resultados das amostras endireitadas.

Como há uma maior quantidade de pontos intermediários nos rolos amostrados no processo de endireitamento, a análise das propriedades mecânicas é baseada apenas nos dados dos ensaios realizados nas amostras endireitadas.

A análise dos resultados de propriedades mecânicas dos ensaios de tração apresentados são a média de 4 amostras retiradas de cada lado dos rolos de vergalhão e estão relacionados com as médias dos resultados de composição química para cada amostra ensaiada.

Os resultados de limite de escoamento foram comparados com o percentual de nióbio e vanádio em gráficos separados para amostras obtidas das extremidades dos rolos e amostras obtidas do vergalhão endireitado, pois o processo de endireitamento realiza algum encruamento às amostras e poderia alterar os resultados.

O Gráfico 13 apresenta a relação do limite de escoamento com o % Nb. O gráfico não apresenta qualquer tendência, devido a maior influência do vanádio que se encontra em maior quantidade que o nióbio.

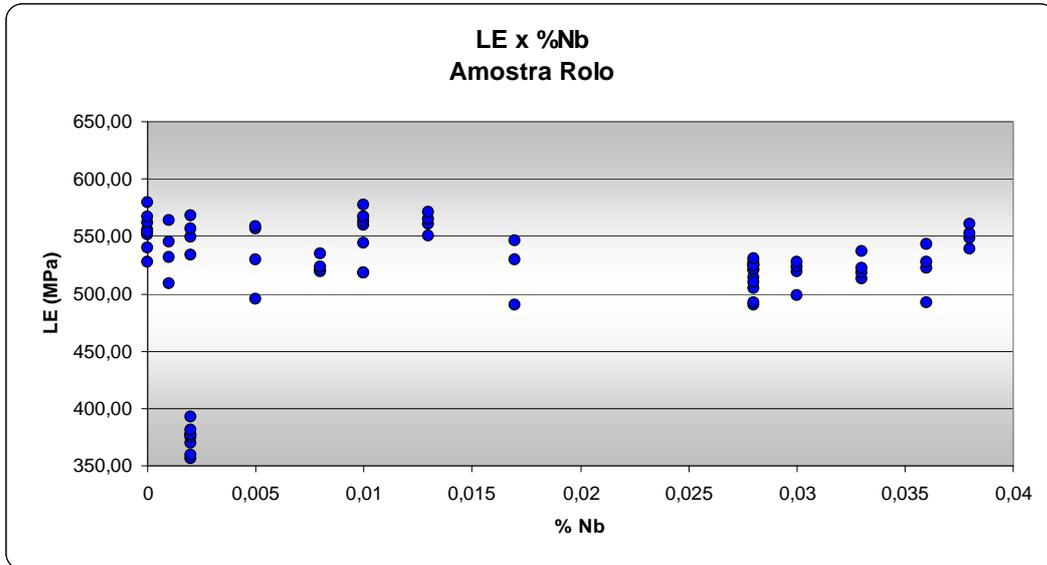


Gráfico 13: Relação entre limite de escoamento e %Nb.

O Gráfico 14 apresenta a relação entre limite de escoamento e teor de vanádio das amostras obtidas das extremidades dos rolos, que não passaram pelo processo de endireitamento. As linhas de tendência amarela, vermelha e azul são respectivamente de regressão linear, logarítmica e polinomial de 2ª ordem.

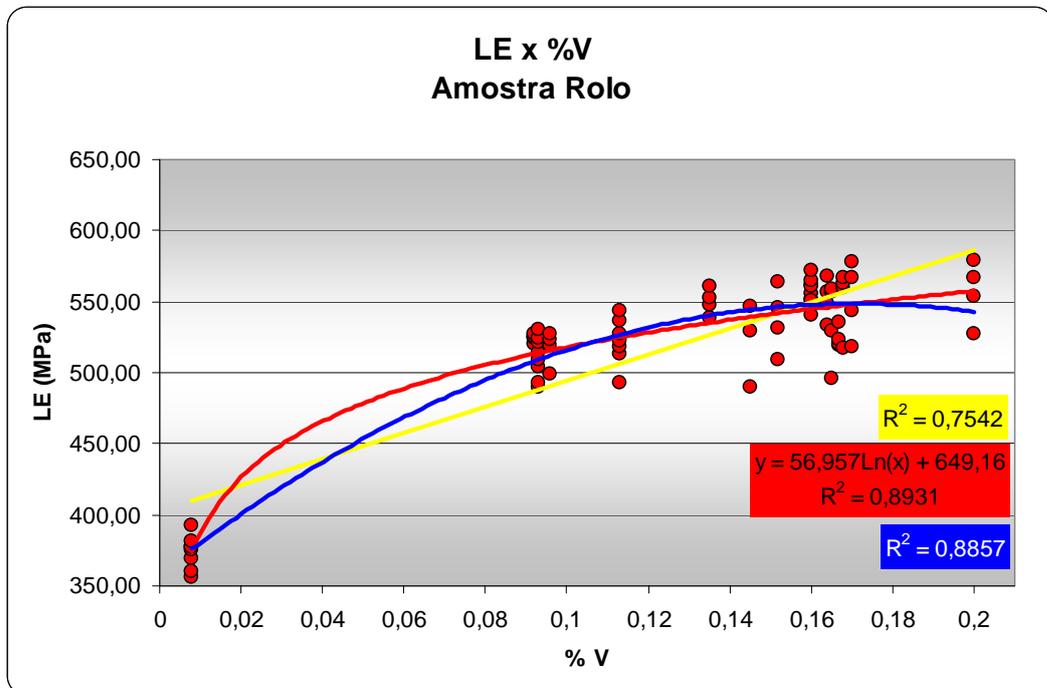


Gráfico 14: Relação entre limite de escoamento e % V.

O Gráfico 15 apresenta a relação entre o limite de escoamento com as amostras obtidas do vergalhão que passou pelo processo de endireitamento. As linhas de tendência vermelha e azul são respectivamente de regressão linear e polinomial de 2ª ordem.

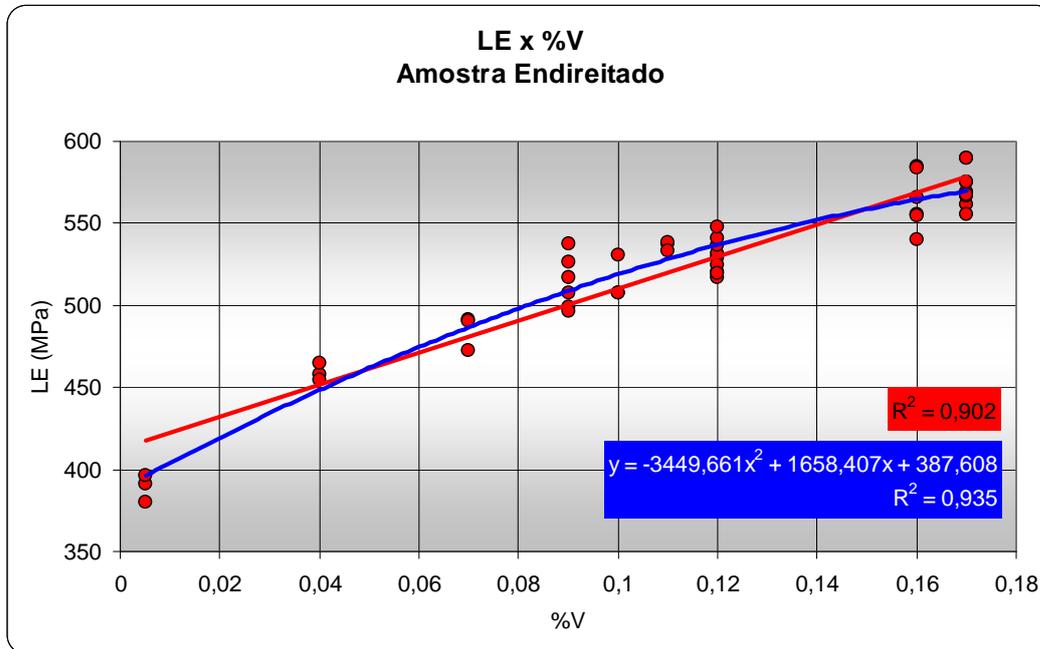


Gráfico 15: Relação entre limite de escoamento e % V das amostras obtidas do vergalhão endireitado.