

Nos gráficos 4.37 a 4.43 pode-se analisar a microdureza das amostras tratadas a 800°C.

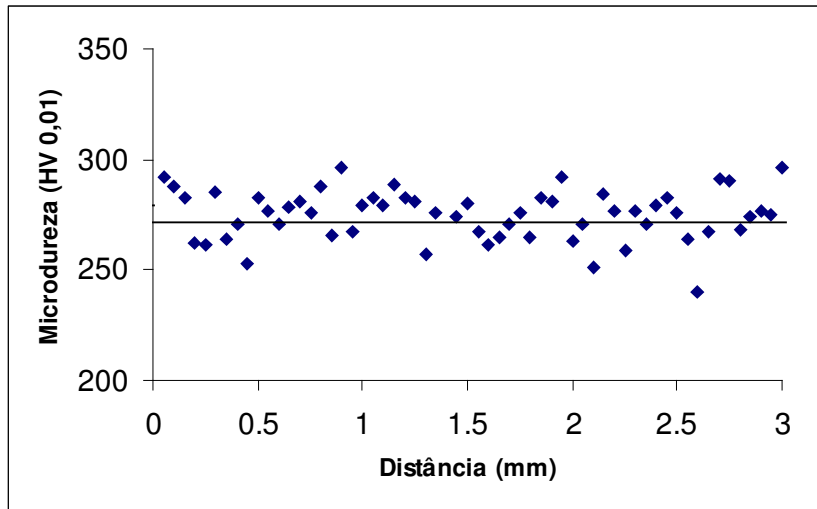


Gráfico 4.37: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 800°C por 1 min.

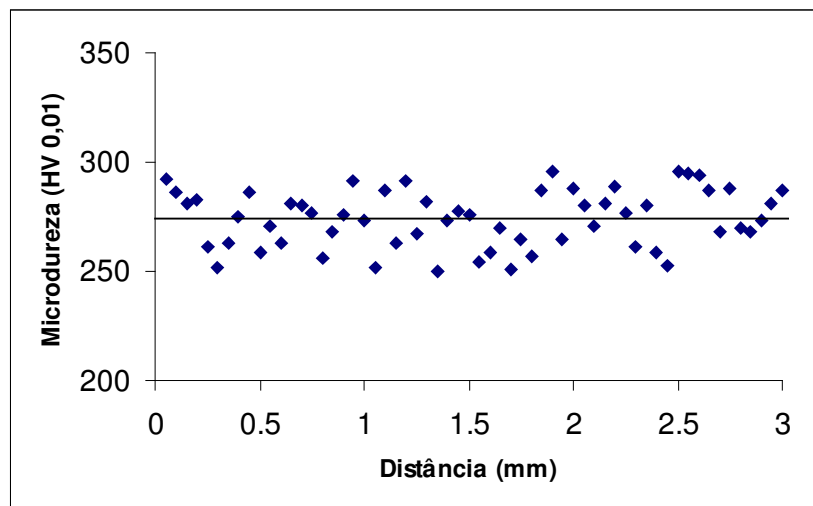


Gráfico 4.38: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 800°C por 3 min.

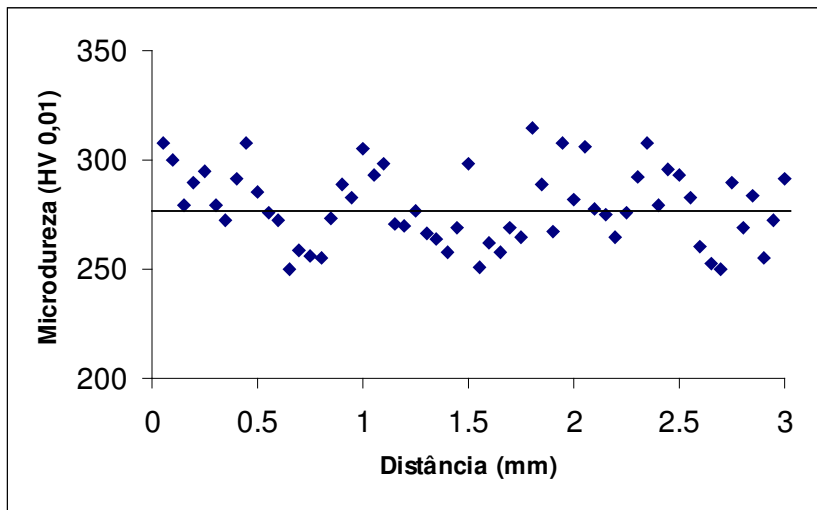


Gráfico 4.39: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 800°C por 5 min.

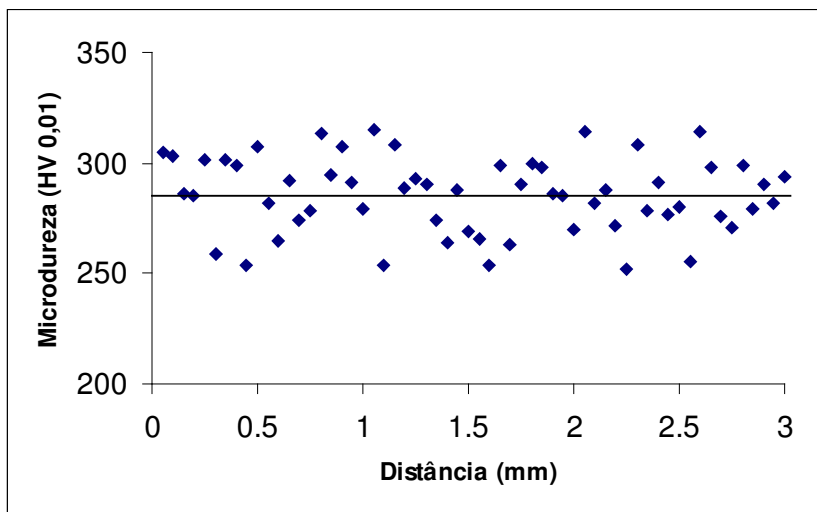


Gráfico 4.40: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 800°C por 8 min.

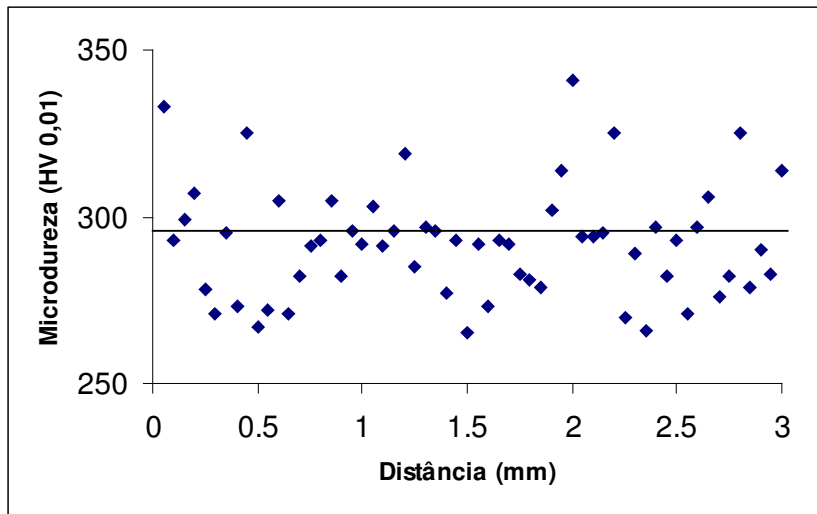


Gráfico 4.41: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 800°C por 10 min.

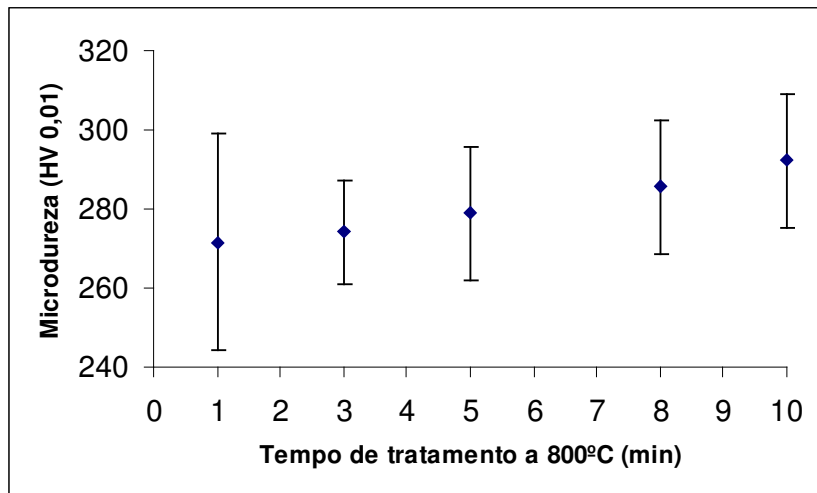


Gráfico 4.42: Dureza em função do tempo de envelhecimento.

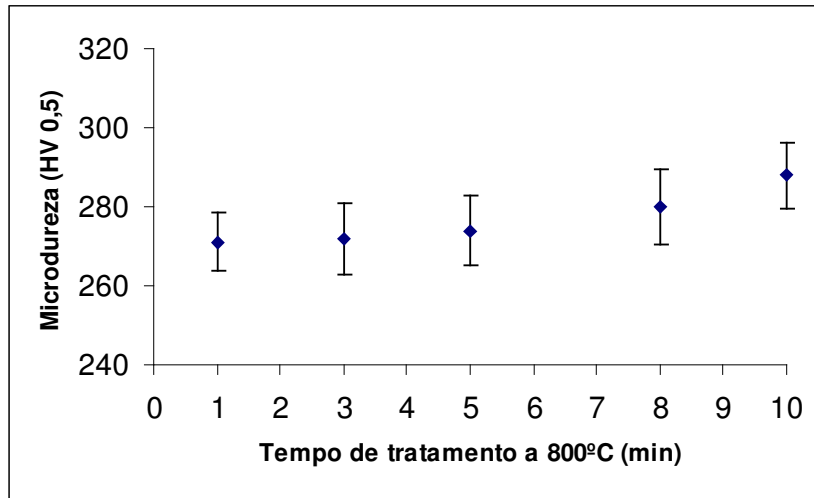


Gráfico 4.43: Dureza em função do tempo de envelhecimento.

As amostras de 850°C (gráficos 4.44 a 4.50) foram as que apresentaram a maior dureza, devido a maior formação de fase sigma. A amostra envelhecida a 10 minutos foi a que apresentou uma maior dureza, de aproximadamente 310HV.

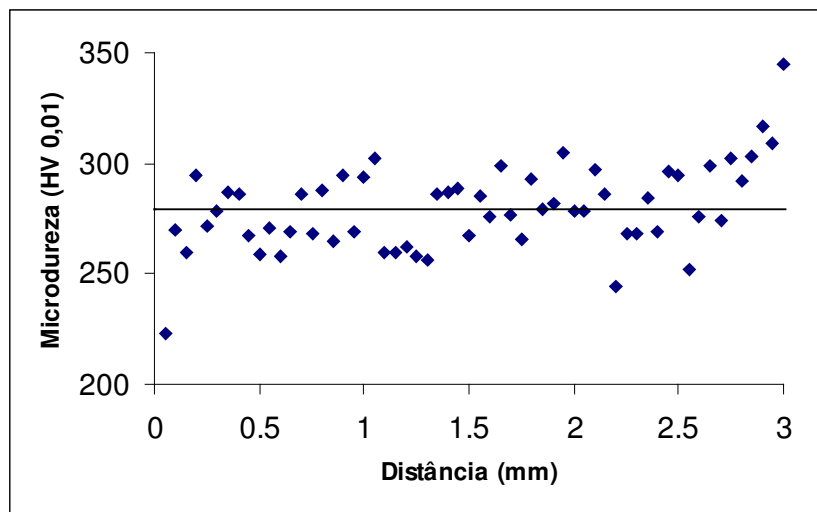


Gráfico 4.44: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 850°C por 1 min.

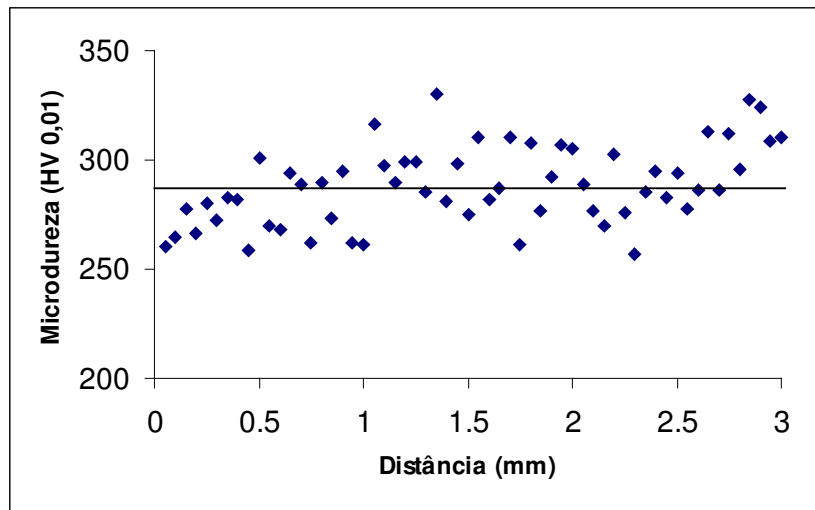


Gráfico 4.45: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 850°C por 3 min.

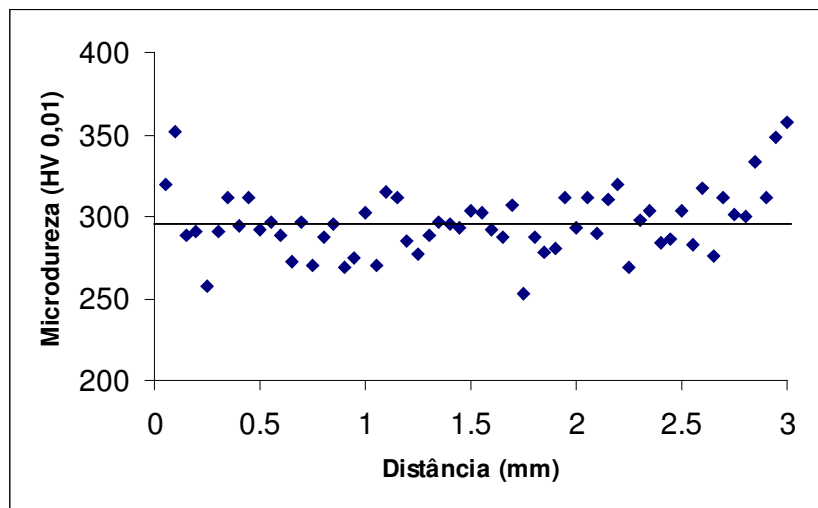


Gráfico 4.46: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 850°C por 5 min.

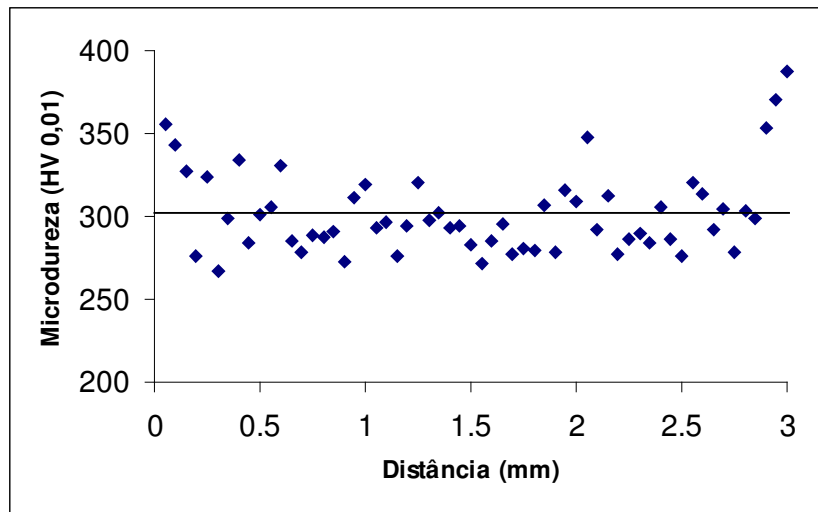


Gráfico 4.47: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 850°C por 8 min.

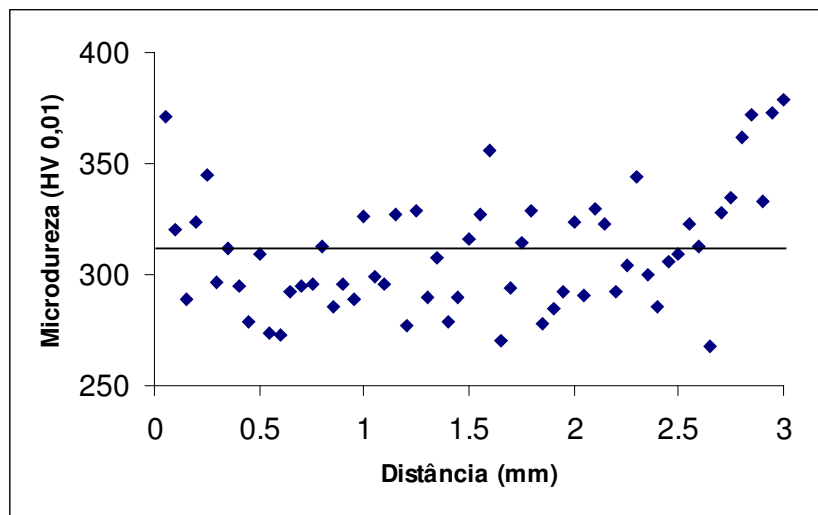


Gráfico 4.48: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 850°C por 10 min.

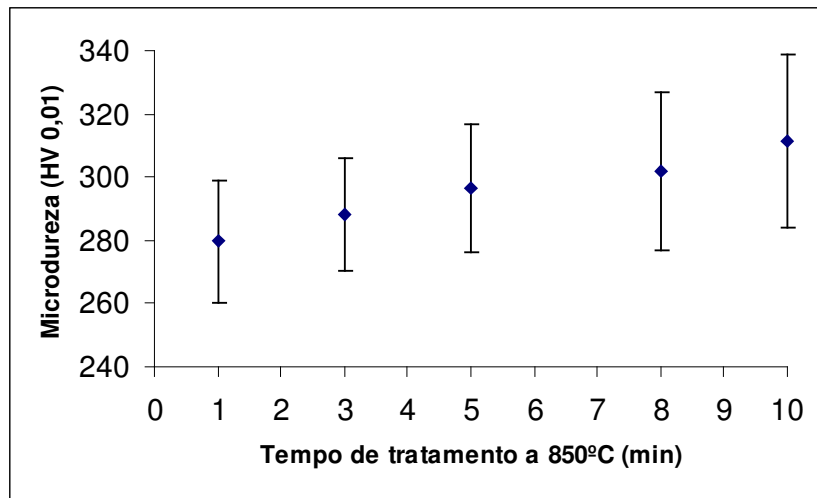


Gráfico 4.49: Dureza em função do tempo de envelhecimento.

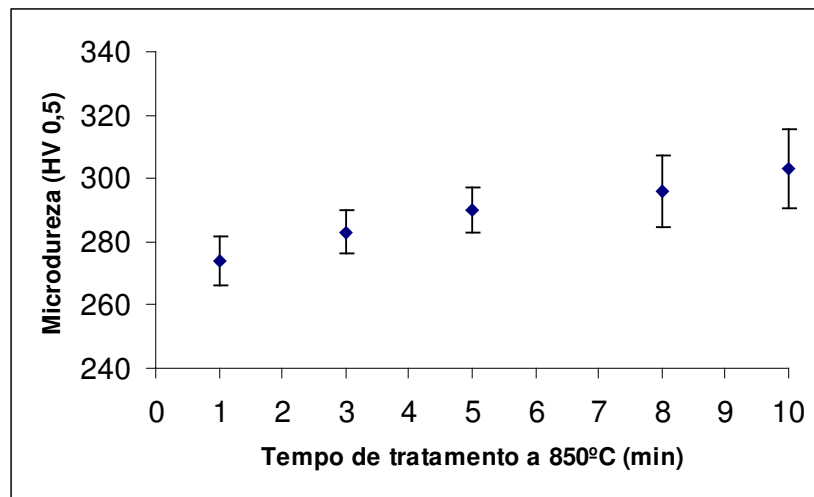


Gráfico 4.50: Dureza em função do tempo de envelhecimento.

Na temperatura de 900°C (gráficos 4.51 a 4.57) a evolução da microdureza foi bem semelhante a de 800°C, devido a formação de fase sigma bem parecida nestas duas temperaturas. Os gráficos 4.54 e 4.55 mostram os picos de dureza a 1mm da superfície, comprovando a grande concentração de sigma nas bandas de ferrita.

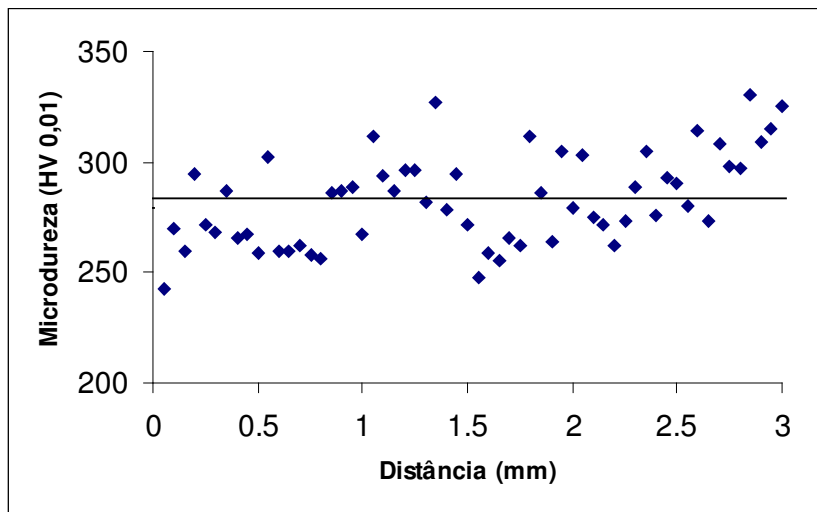


Gráfico 4.51: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 900°C por 1 min.

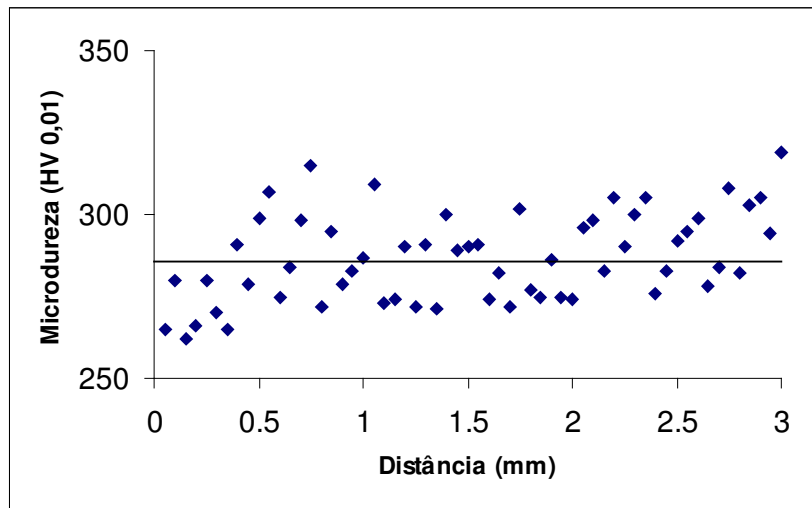


Gráfico 4.52: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 900°C por 3 min.

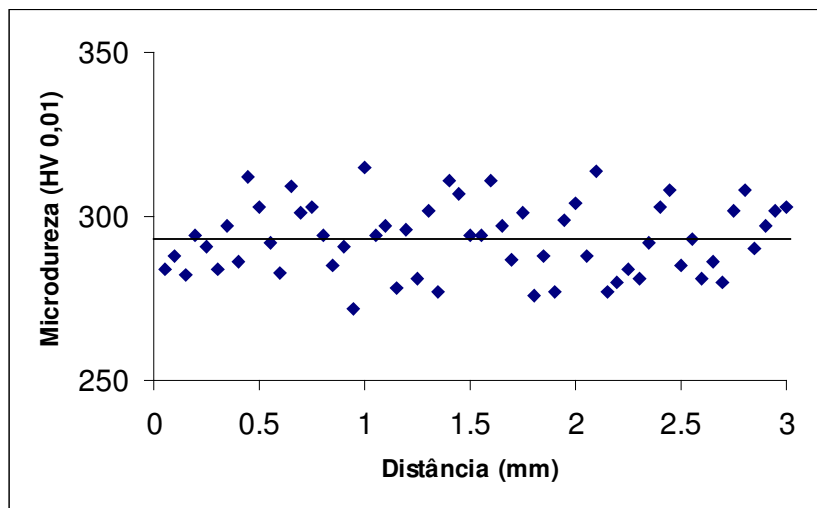


Gráfico 4.53: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 900°C por 5 min.

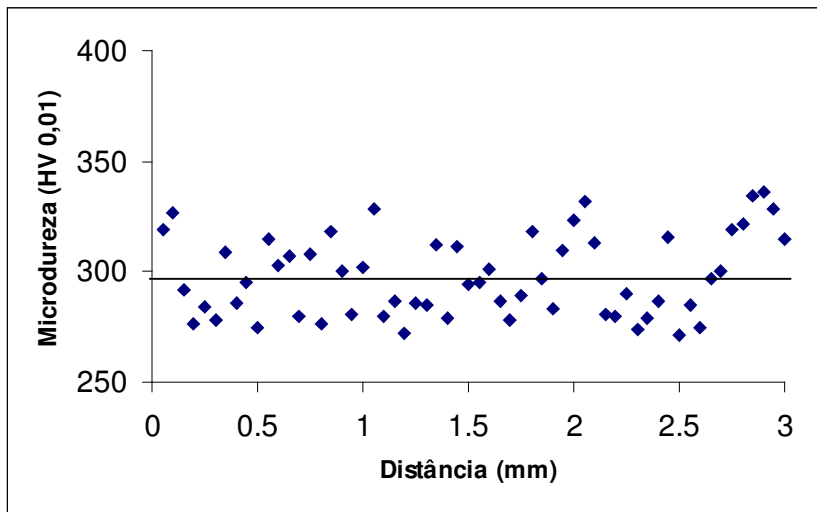


Gráfico 4.54: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 900°C por 8 min.

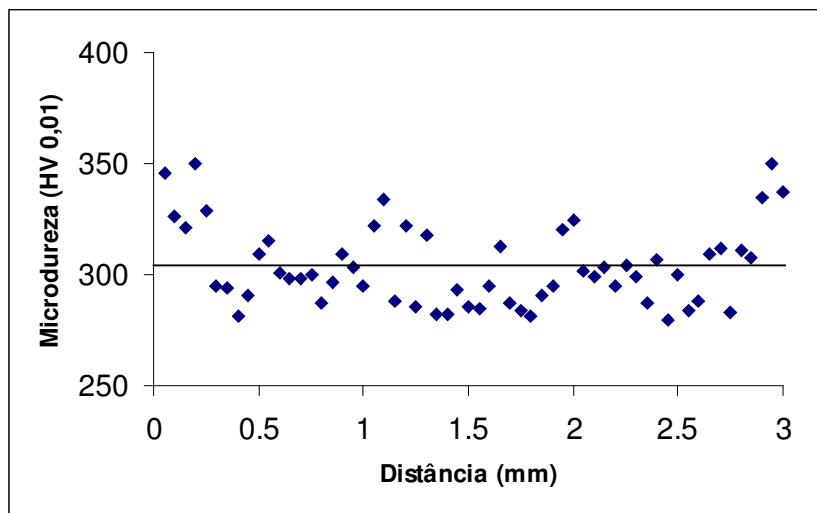


Gráfico 4.55: Perfil da dureza em função da distância da superfície após envelhecimento a 900°C por 10 min.

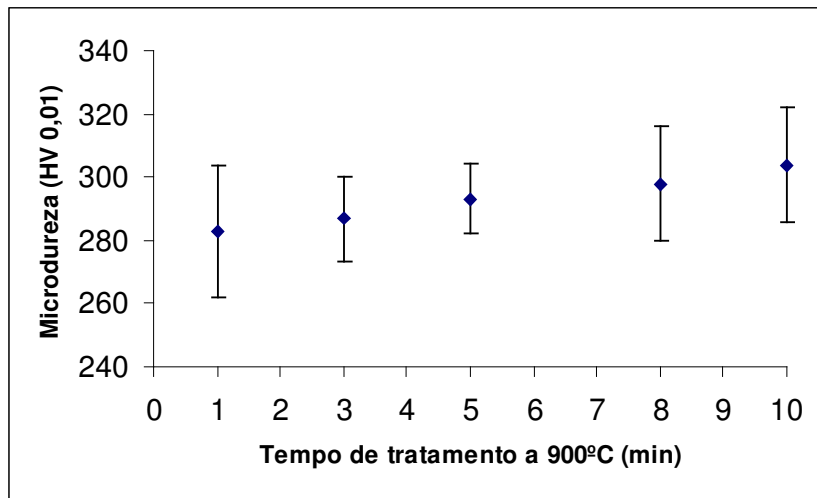


Gráfico 4.56: Dureza em função do tempo de envelhecimento.

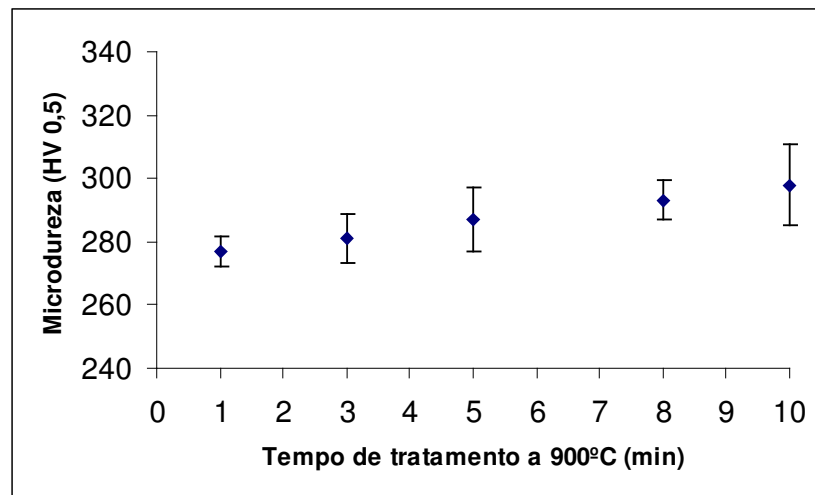


Gráfico 4.57: Dureza em função do tempo de envelhecimento.

5-DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Todos os resultados obtidos neste trabalho foram satisfatórios e de grande importância, uma vez que foi determinado o tempo necessário para o início de formação de fase sigma em cada série de amostras estudadas.

Foi constatado que quanto maior o tempo de envelhecimento, maior é a formação de fase sigma, em todas as condições estudadas. Constatou-se também que a fase sigma se dá através da precipitação a partir da ferrita, através de sua decomposição eutetóide gerando sigma e austenita secundária conforme análise dos gráficos 4.17, 4.19 e 4.21.

No apêndice 1 pode-se notar a grande presença de sigma aonde se encontra o maior bandejamento de ferrita, conforme a montagem de micrografias ao longo de uma seção transversal na amostra de 850°C envelhecida durante 10 minutos. Nesta montagem nota-se a grande concentração de fase sigma aproximadamente a 1mm e 2mm de distância da superfície, comprovando o observado nos gráficos de fração volumétrica de fase sigma (4.7, 4.8, 4.10 e 4.12).

Nos gráficos 4.14, 4.15, 4.16, 4.18 e 4.20 de fração volumétrica de ferrita nota-se que quanto maior o tempo de envelhecimento, menor será a fração volumétrica de ferrita e nos gráficos de austenita (4.17, 4.19 e 4.21) nota-se um aumento da mesma, provando a formação de austenita secundária. Nos perfis de dureza, por exemplo nos gráficos 4.23, 4.24, 4.25, 4.32 e 4.33, nota-se que geralmente os picos de dureza se encontram em aproximadamente a 1mm e 2mm na seção transversal do corpo-de-prova e nas superfícies também, ou seja, no mesmo local onde se concentra os grandes bandeamentos de ferrita mostrado no apêndice 1.



Porém foi nas amostras de 850°C e 900°C que ocorreu a maior cinética de precipitação de fase sigma, assim como é relatado na bibliografia consultada (**RAYNOR e RIVLIN, 1985**). As duas séries de amostras apresentaram a presença de fase sigma em apenas um minuto de envelhecimento, mas foi a amostra de 850°C que apresentou a maior fração volumétrica de fase sigma.

6-CONCLUSÃO

Pode-se concluir que:

-A formação de fase sigma se dá através da decomposição eutetóide da ferrita, gerando sigma de morfologia maciça e austenita secundária.

-Há um aumento da fração volumétrica de fase sigma com o aumento do tempo de envelhecimento.

-A dureza aumenta e a fração volumétrica de ferrita diminui, conforme aumenta a fração volumétrica de sigma.

-Nas séries de amostras de 700°C e 750°C a fase sigma começa aparecer a partir de 5 minutos de envelhecimento.

-A amostra de 800°C apresenta fase sigma a partir de 3 minutos de tratamento e atinge um pico de sigma de 2,01% em 10 minutos.

-A máxima cinética de precipitação de fase sigma para o SAF 2205 se dá nas temperaturas de 850°C e 900°C apresentando sigma a partir de 1 minuto de envelhecimento.

-A fração volumétrica máxima de fase sigma foi obtida no envelhecimento a 850°C durante 10 minutos de tratamento apresentando uma média de 9%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARWAL, D. C.** *Duplex stainless steels – The cost effective answer to corrosion problems of major industries.* Key Eng. Mater. n.2 v.20-28 1988 p.1677-92.
- BARBOSA, C. A. et alli** *Formação de fase sigma em aço inoxidável austenítico-ferrítico.* Metalurgia ABM n.227 v.32 out.1976 p.669-73.
- BRANDI, S. D. PADILHA, A. F.** *Precipitação de fase sigma em aços inoxidáveis ferríticos-austeníticos com microestrutura duplex.* INOX'90 (seminário) p.135-52.
- DAVIS, J. R.** (ed) *ASM specialty handbook – stainless steels.* ASM: Metals Park 1994 p.51-4.
- ECKENROD, J. J. PINNOW, K. E.** *Effects of chemical composition and thermal history on the properties of alloy 2205 duplex stainless steel.* In: New developments in stainless steel technology. Detroit 1984 p. 77-87.
- ERBING, M. L. GROTH, H. L.** *Duplex-un'alternativa all'acciaio inossidabile 316 per il risparmio di peso in applicazioni offshore.* L'acciaio inossidabile n.2 1993 p.10-3.
- GILMAN, J. J.** *Hardening of high-chromium steels by sigma phase formation.* Transactions of the ASM v.43 1951 p.161-92.
- HALL, E. O. ALGIE, S. H.** *The sigma phase.* Metallurgical reviews v.11 1966 p.61-88.
- HIGGINS, R.** *Propriedades e estruturas dos Materiais em Engenharia.* Difusão Editorial, 1982 p.186-214.
- LEFFLER, B.** *Alloy 2205 for marine chemical tankers.* Materials performance abr.1990 p.60-3.



- MAEHARA, Y. et alli** *Effects of alloying elements on σ phase precipitation in δ - γ duplex phase stainless steels.* Metal science v.17 nov.1983 p.541-7.
- MAGNABOSCO, R.** *Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço SAF 2205.* Tese (Doutorado em engenharia) – Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, 2001. 181 p.
- MAGNABOSCO, R. et al** “*Changes in volumetric fraction of ferrite and sigma phases after isothermar aging between 700°C and 900°C of UNS S31803 (SAF 2205) duplex stainless steel.* 7th International Congress of Mechanical Engineering – COBEM 2003, novembro 2003, São Paulo-SP.
- NILSSON, J. O.** *Super duplex stainless steel.* Materials science and technology Ago. 1992 v.8 p.685-700.
- NORDSTROM, J. RUNG, B.** *Bollitori e torri di stoccaggio di pasta per carta in acciai inossidabili duplex consentono risparmio di peso e di costi L'acciaio inossidabile* v.2 1995 p.7-12.
- POTGIETER, J. H. CORTIE, M. B.** *Determination of microstructure and alloy element distribution in experimental duplex stainless steels.* Materials Characterization. v. 26 1991 p.155-65.
- RAYNOR, G. V. RIVLIN, V. G.** *Phase equilibria in iron ternary alloys.* The Institute of Metals, London, 1985 p.316-32.
- SEDRIKS, A. J.** *Corrosion of stainless steels.* John Wiley: NY 1996 2. ed. Cap.1e2.
- SOLOMON, H. D. DEVINE Jr., T. M.** *Duplex stainless steels - a tale of two phases.* In: Duplex stainless steels – conference proceedings. ASM Metals Park Ohio 1982 p. 693-756.
- THORVALDSSON, T. et alli** *Influence of microstructure on mechanical properties of a duplex stainless steel.* Metallography v.23 1989 p. 1-19.



WAGNER, G. H. ZWILLING, G. *On the characterization of sensitized high alloy chromium nickel steels by potentiostatic etching in the active region.* Pract. Metallogr. v.21 1984 p.190-9.