

# ESTUDO DE CASO DA UTILIZAÇÃO DE AÇOS INOXIDÁVEIS PARA APLICAÇÃO EM RECUPERADORES DE CALOR NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

**Aluno:** Guilherme Arruda Basso, guibasso1999@gmail.com

**Orientador:** Daniella Caluscio dos Santos, dcaluscio@fei.edu.br

**Resumo:** O objetivo do presente trabalho é caracterizar a microestrutura das ligas de aços inoxidáveis AISI 446 e 253 MA submetidas a tratamentos isotérmicos a 600°C e 700°C por 15 dias, 2, 4 e 5 meses, com foco na presença de fases secundárias nos materiais, e avaliação da possibilidade de substituição da liga ferrítica AISI 446, atualmente empregada, pela liga austenítica 253 MA.

## Introdução

Aços inoxidáveis apresentam teor mínimo de 12% de Cr [1], responsável pela formação de uma película superficial aderente, não porosa e auto regenerativa chamada de película passiva, que confere a resistência à corrosão destes aços [2].

A exposição dos aços inoxidáveis a temperaturas na faixa de 600-1000°C causa a precipitação de intermetálicos, como fase sigma, carbonetos e nitretos, o que, na maioria dos casos, afeta negativamente as propriedades, principalmente com reduções na tenacidade e resistência à corrosão destes materiais [3] [4].

Os aços inoxidáveis são empregados, dentre outras aplicações, em recuperadores de calor de usinas siderúrgicas, em temperaturas acima de 500°C [5]. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é caracterizar a microestrutura de aços inoxidáveis para aplicação em tal equipamento.

## Metodologia

Foram recebidas ligas de aços inoxidáveis AISI 409 e AISI 446 após uso em siderúrgica e AISI 446 e 253 MA, como fornecidos pelo fabricante.

Foram realizadas simulações de equilíbrio no

software ThermoCalc® a fim de se obter previsões das fases em equilíbrio em altas temperaturas.

Com base nas simulações e nas temperaturas de uso dos materiais, foram realizados envelhecimentos, a vácuo, nas ligas AISI 446 e 253 MA nas temperaturas de 600°C e 700°C por 15 dias, 2, 4 e 5 meses, nos fornos tubulares do CLM-FEI.

Todas as amostras foram preparadas metalograficamente até acabamento de 1µm e, em seguida, atacadas com reagente 10% de hidróxido de potássio, a 2 Vcc de diferença de potencial durante um minuto para revelação da microestrutura, em ataque eletrolítico.

A quantificação de fases secundárias foi feita utilizando o software Image J, com no mínimo 20 campos analisados por amostra.

As análises de DRX foram realizadas em difratômetro de raios X Shimadzu XRD-7000 do CDMatM-FEI, com radiação de Cu-K $\alpha$  e monocromador de Ni, varrendo-se ângulos de difração  $35^\circ < 2\theta < 120^\circ$ , a velocidade de  $1^\circ / \text{min}$  e amostragem a cada  $0,04^\circ$ . A fonte de raios-X foi excitada a 30 kV e 30 mA.

## Resultados

As micrografias das ligas AISI 446 e AISI 409 após uso em recuperador de calor, onde provavelmente se observa a presença de fases intermetálicas previstas em simulação: carbonetos e nitretos de Cr e nitretos de Ti são apresentadas na Figura 1. Nas ligas AISI 446 e 253 MA sem tratamento (Figura 2), como fornecidas por fabricante, se percebe a presença de fases intermetálicas precipitadas na liga 446 e a presença de inclusões não metálicas na liga 253 MA. Os resultados das quantificações de fases secundárias são apresentados na Tabela 1.

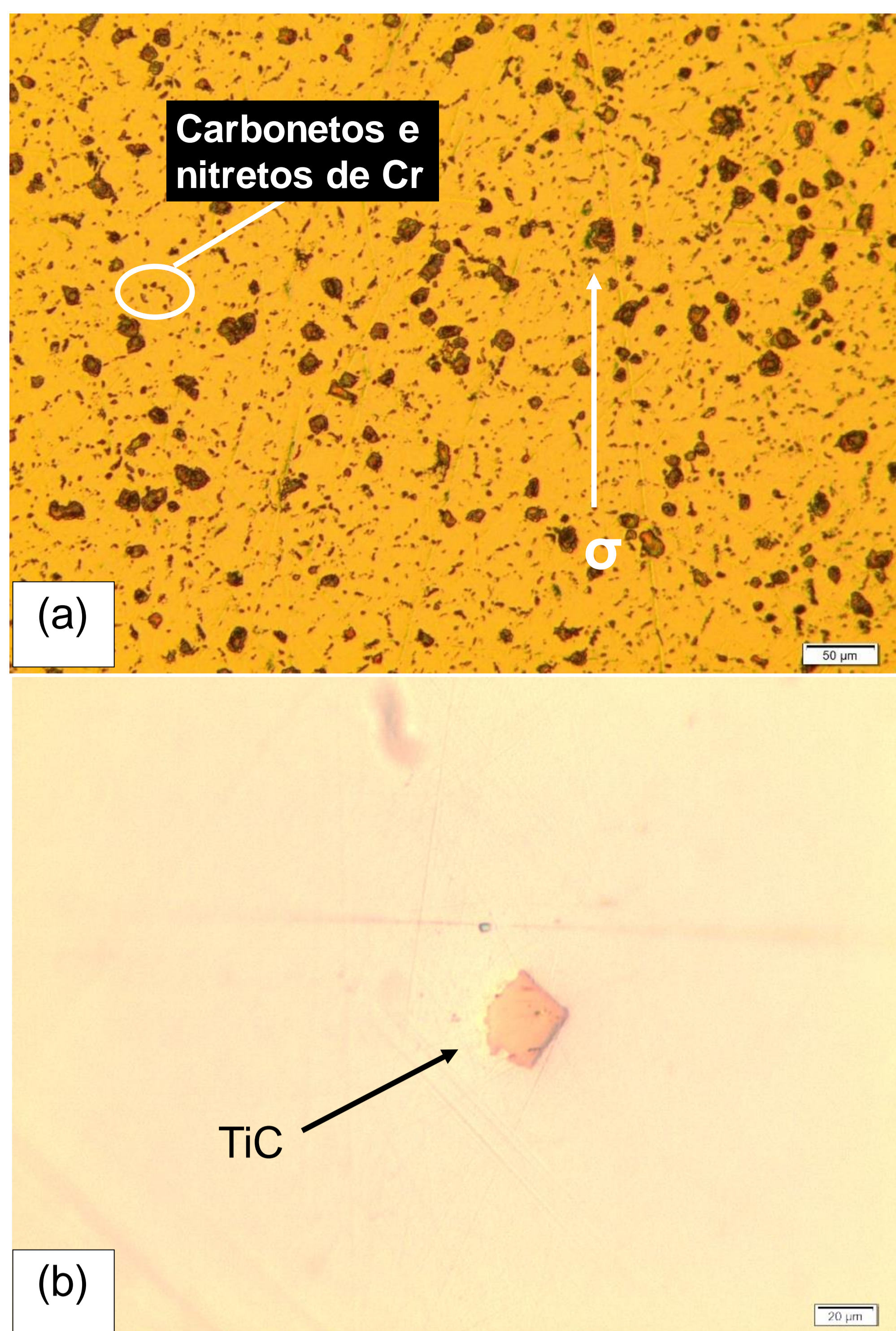


Figura 1 - Microestrutura das ligas (a) AISI 446, 100x, e (b) AISI 409, 200x, após anos de uso.

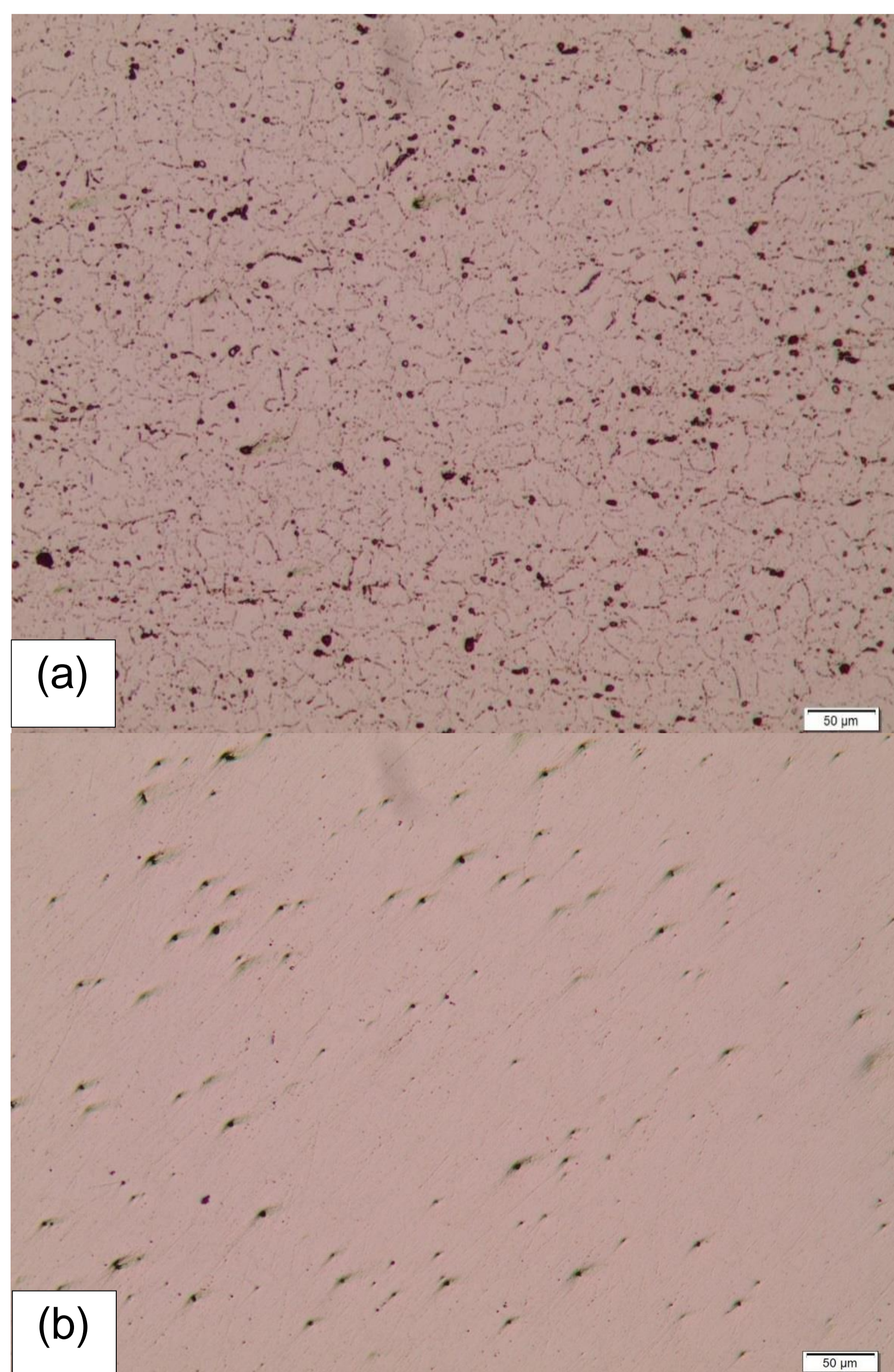


Figura 2 - Microestrutura das ligas (a) AISI 446 (b) 253 MA sem tratamento, como fornecidas for fabricante. 100x.

Foram também obtidas micrografias das ligas AISI 446 e 253 MA após os tratamentos isotérmicos (Figura 3) que mostram o aumento na fração em volume de fases intermetálicas, principalmente para a liga 253 MA.

Liga	Condição	Fases secundárias (%)	Desvio padrão (%)
AISI 446	Após uso	13,75	1,42
AISI 409	Após uso	0,17	0,04
AISI 446	Sem uso	6,74	1,33
253MA	Sem uso	----	----

Tabela 1 – Resultados das quantificações de fases secundárias nos materiais após uso e como fornecidos.

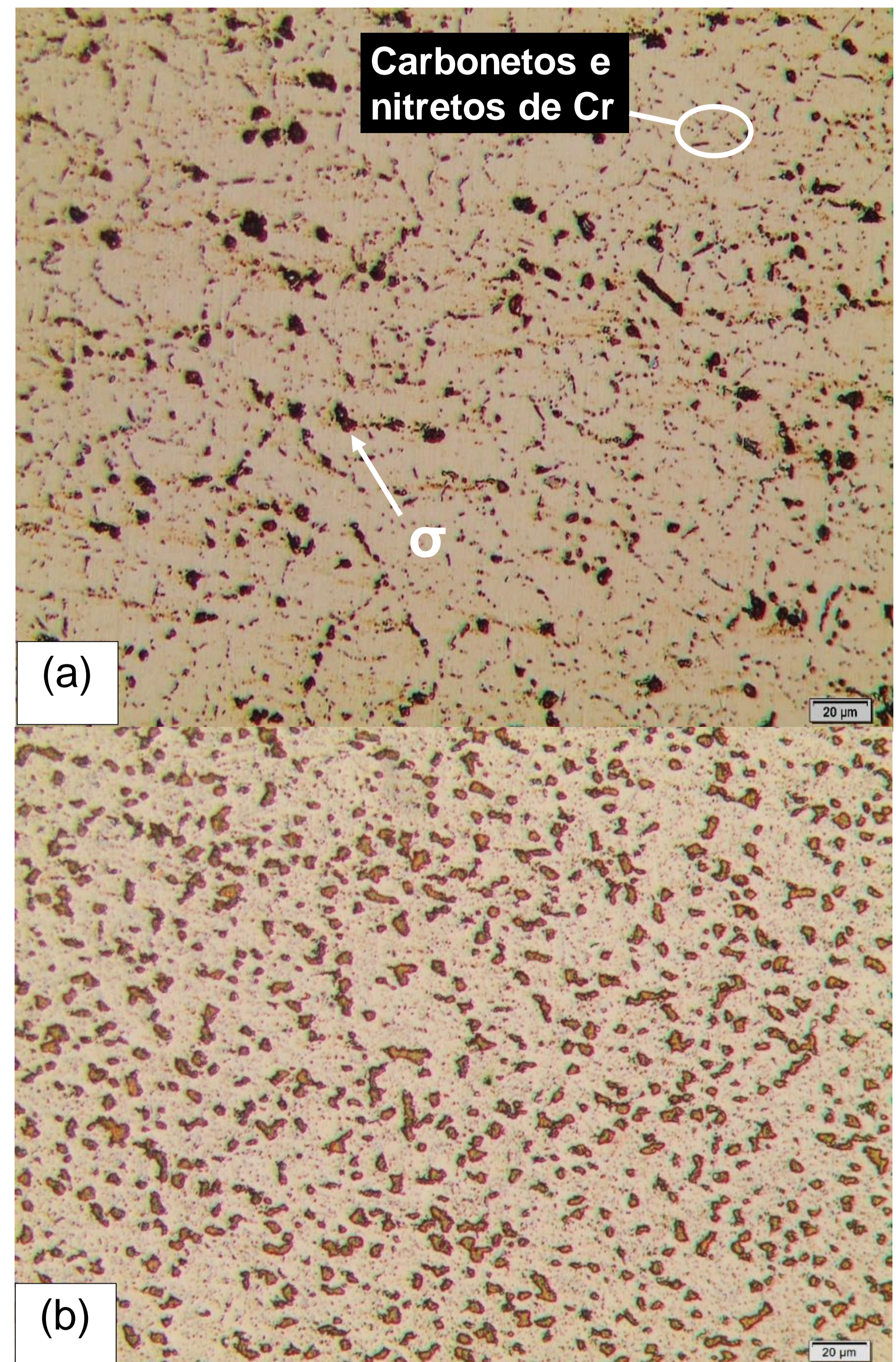


Figura 3 - Microestrutura das ligas (a) AISI 446 e (b) 253 MA após tratamento isotérmico a 700°C por 5 meses. 200x. Partículas maiores são sigma, as menores carbonetos e nitretos.

Os difratogramas de raios X para as ligas AISI 446 e 253 MA após tratamento isotérmico (Fig. 4 e 5), mostram a presença de sigma e possivelmente sigma e carbonetos de cromo, respectivamente. Nas figuras 5 a 8 são apresentados resultados com as quantificações de fases secundárias em função do tempo de tratamento isotérmico.

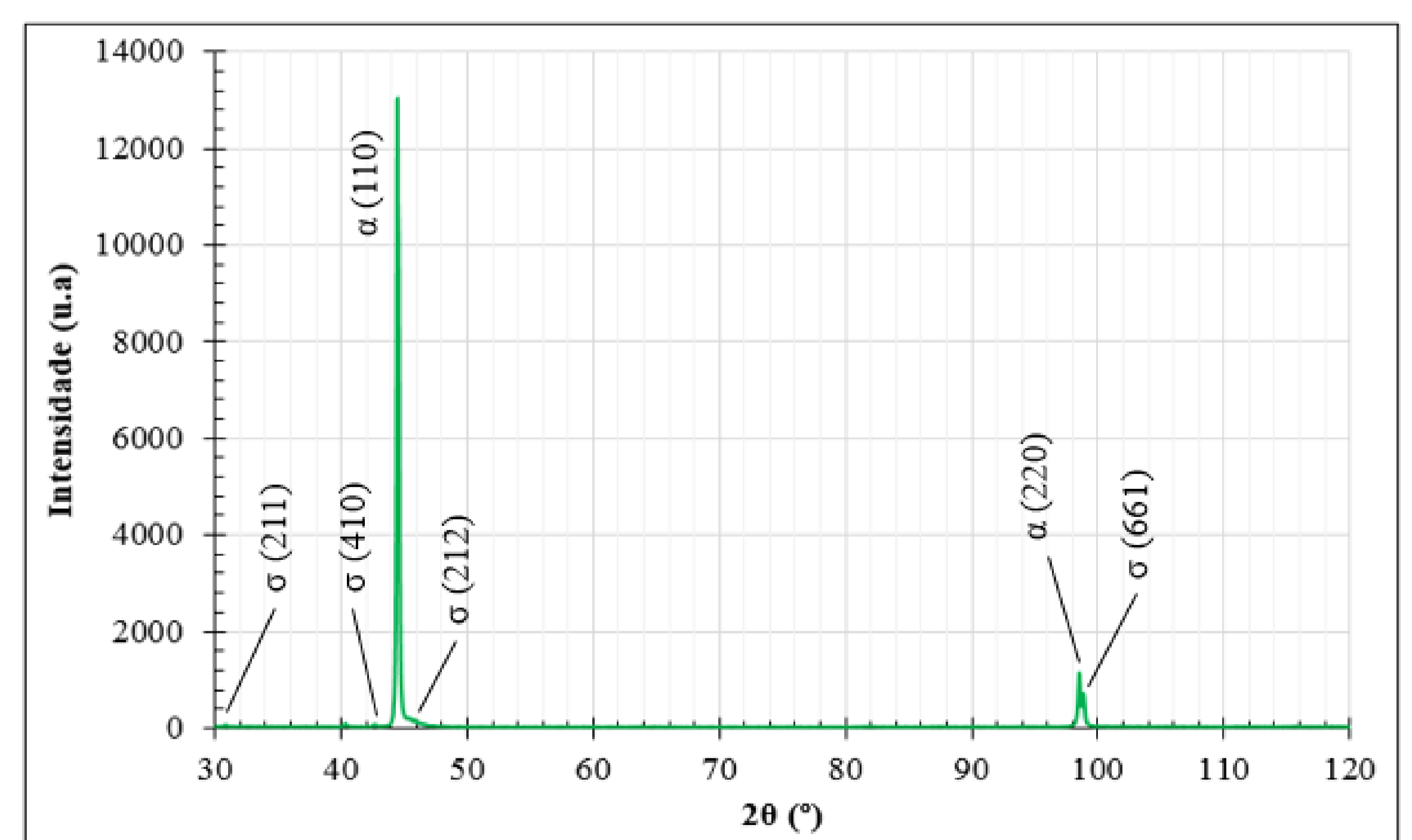


Figura 4 – Difratograma de raios X para a liga AISI 446 após tratamento isotérmico a 700°C por 2 meses.

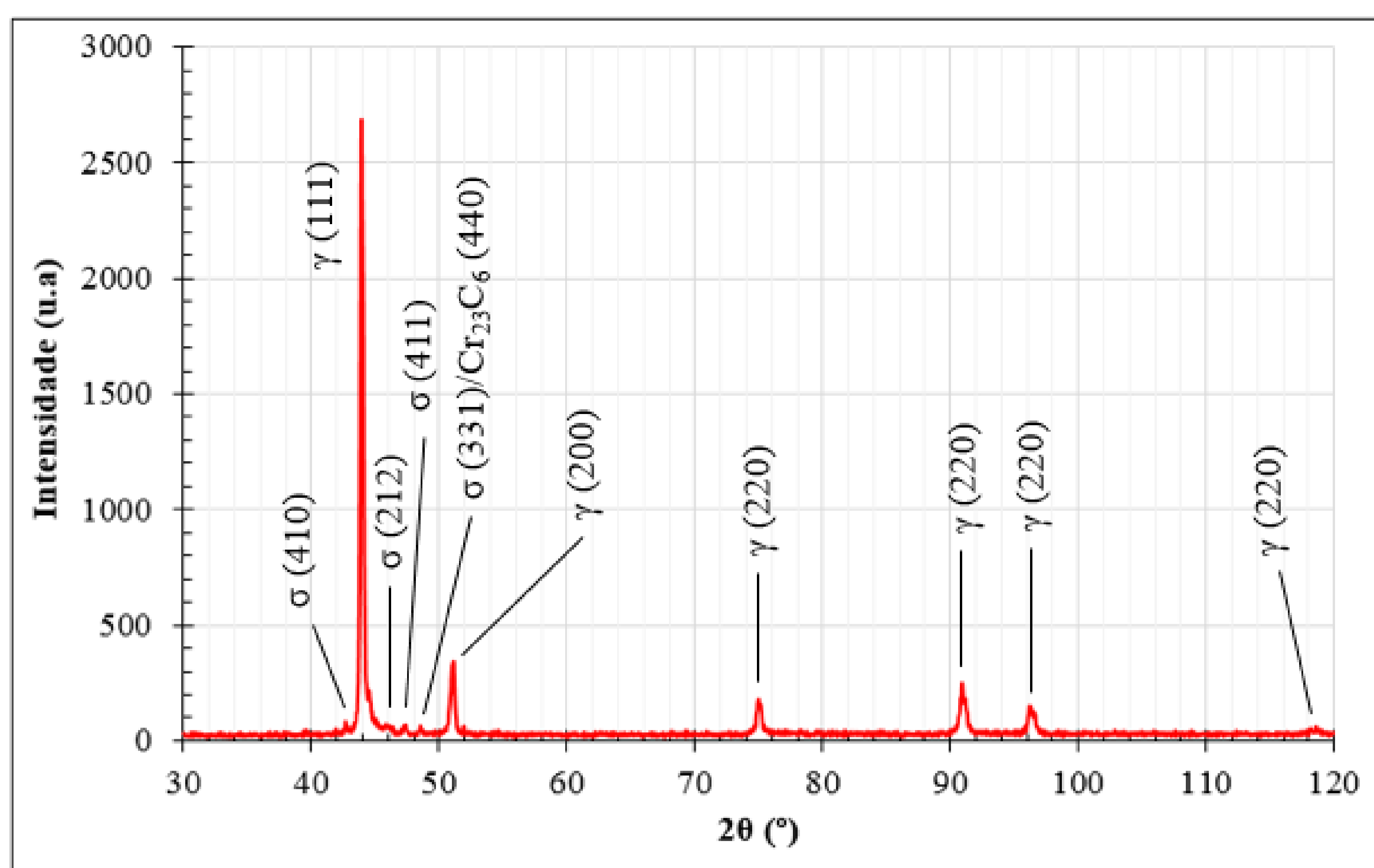


Figura 4 – Difratoograma de raios X para a liga AISI 446 após tratamento isotérmico a 700°C por 2 meses.

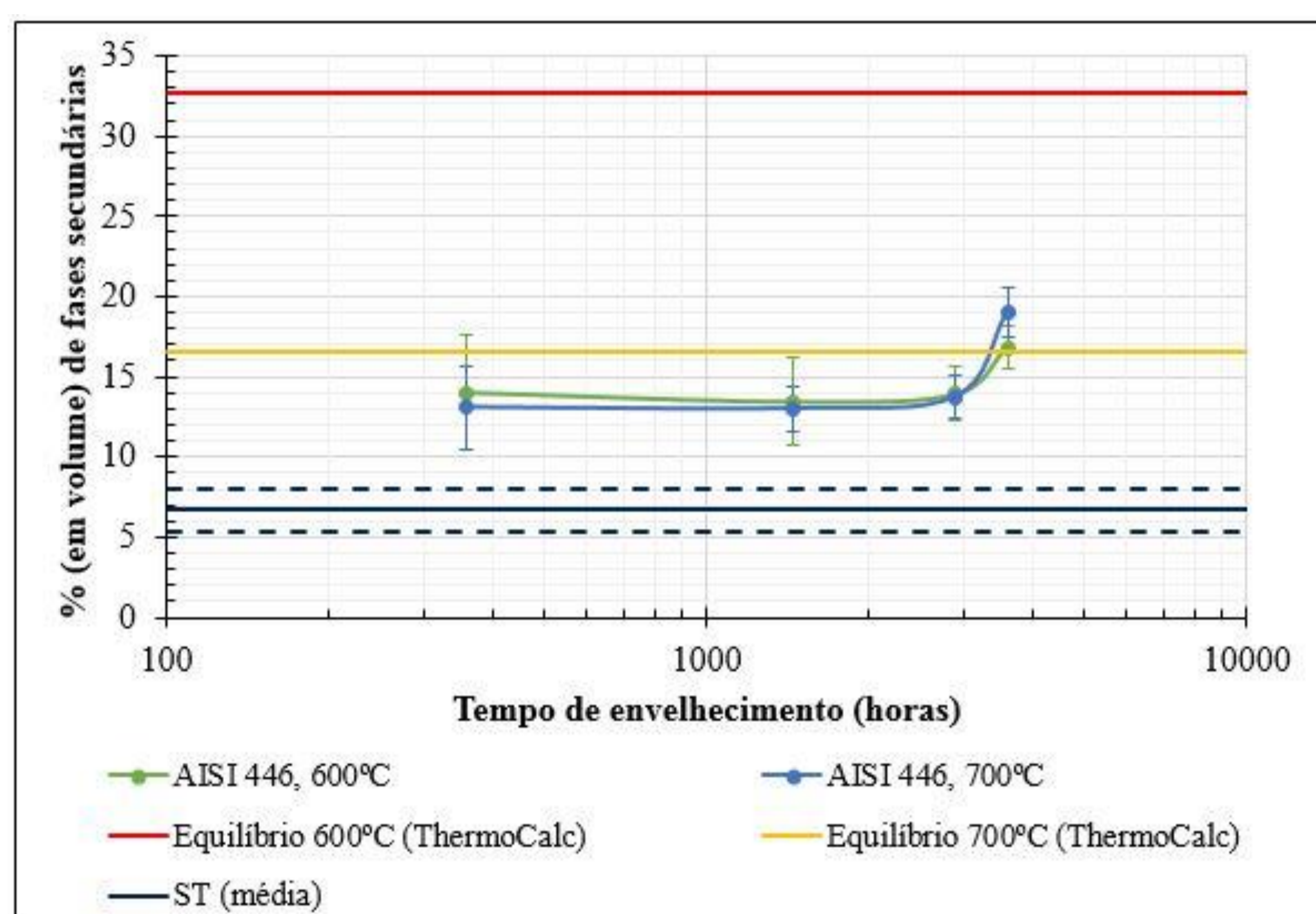


Figura 5 – Porcentagem de fases secundárias para a liga AISI 446 em função do tempo de envelhecimento. “ST” indica o material sem tratamento, como fornecido.

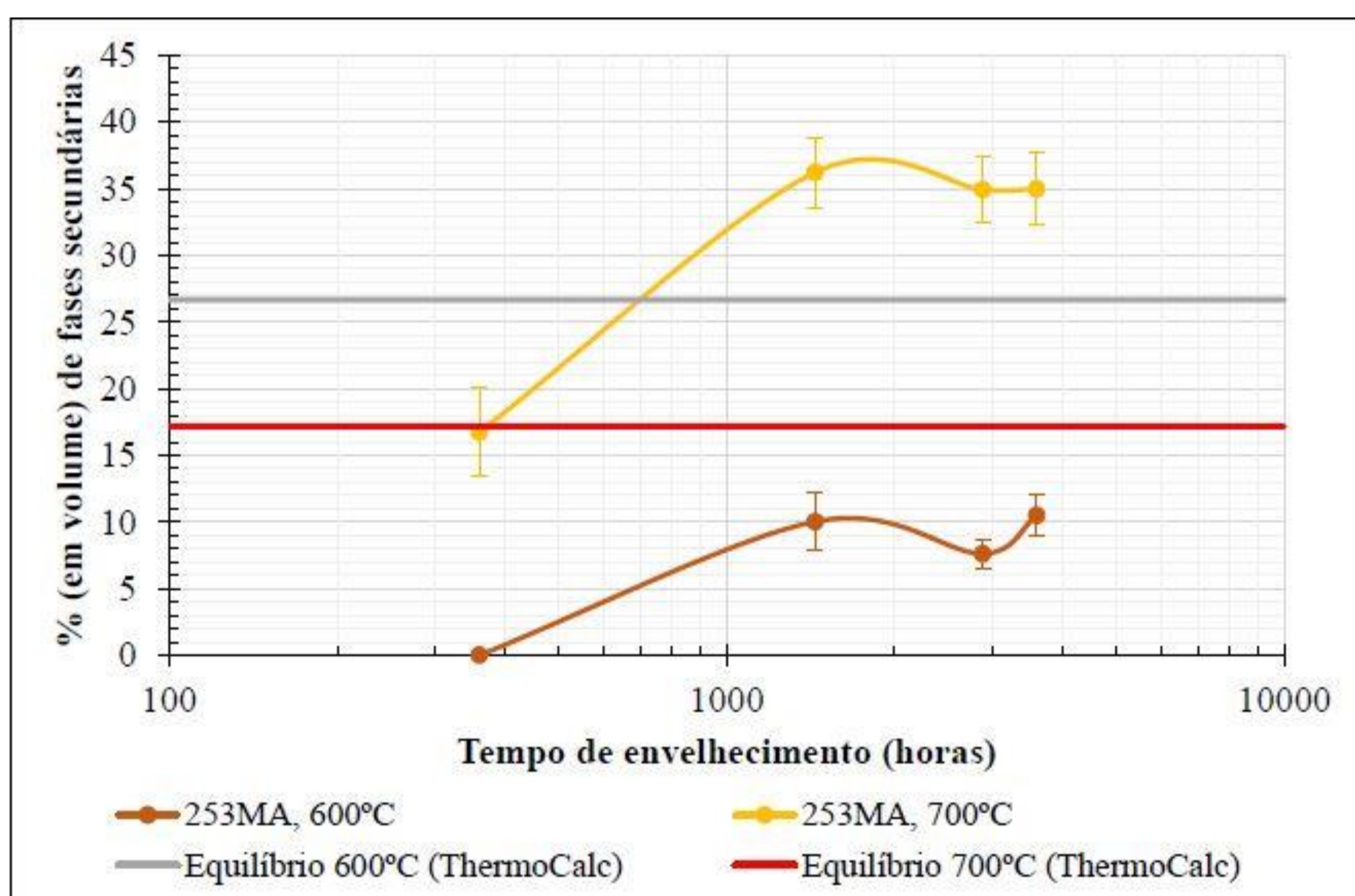


Figura 6 – Porcentagem de fases secundárias para a liga 253 MA em função do tempo de envelhecimento.

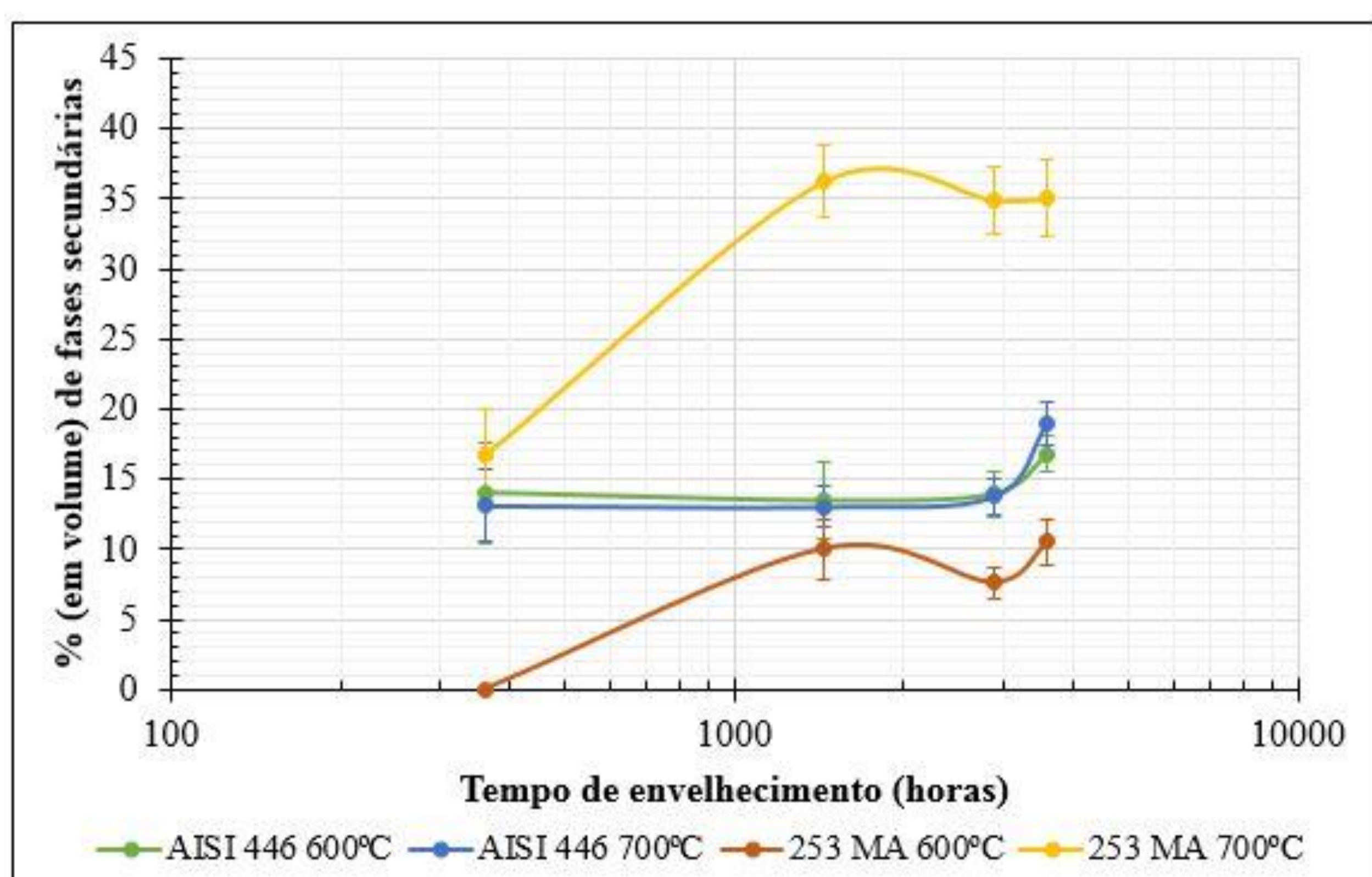


Figura 7 – Porcentagem de fases secundárias para ambas as ligas em função do tempo de envelhecimento.

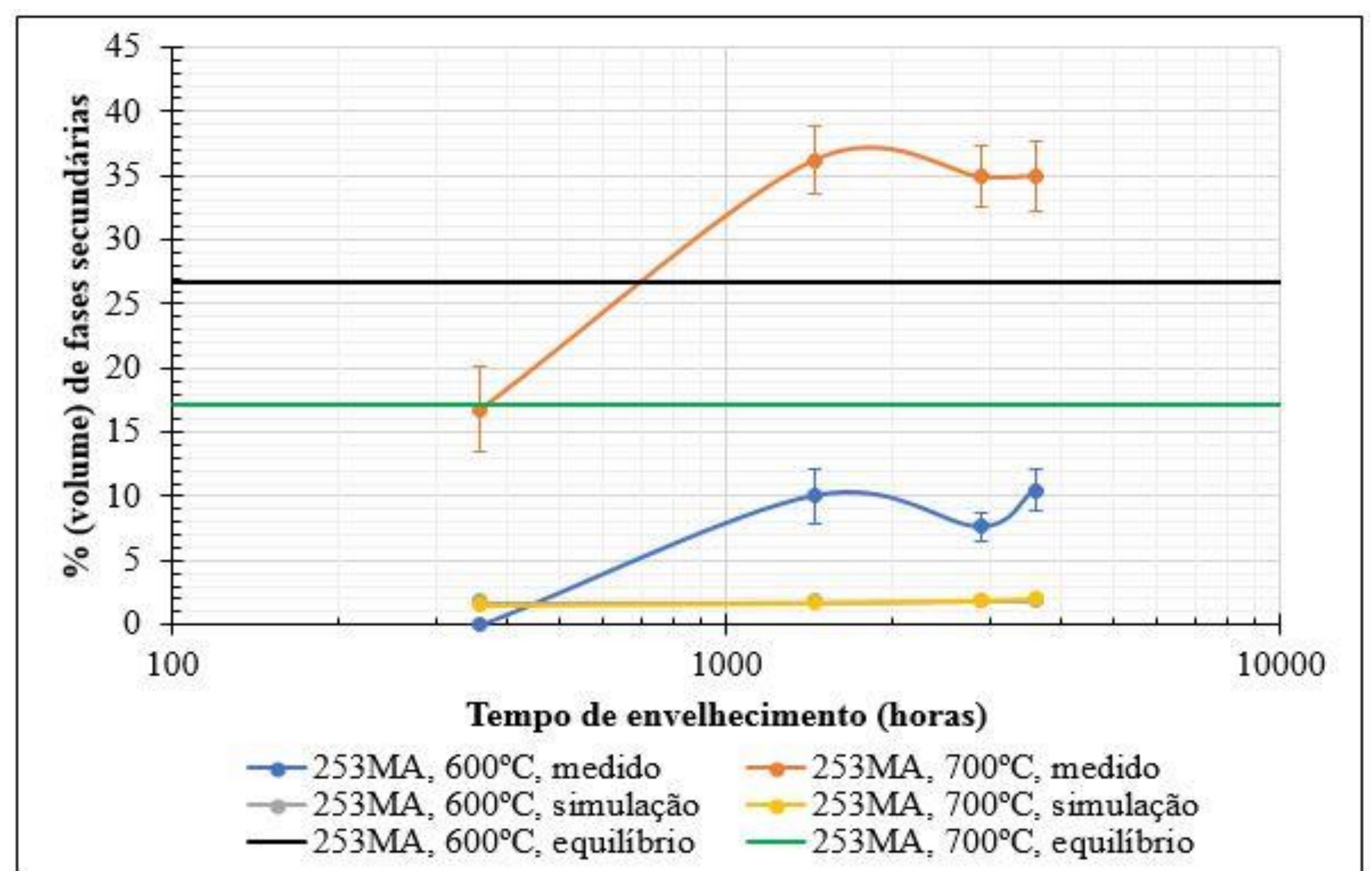


Figura 8 – Comparação das quantidades de fases secundárias previstas por simulação e equilíbrio e as obtidas experimentalmente.

## Conclusões

1. Evidências mostram que a microestrutura da liga AISI 446 é formada por fase sigma e carbonetos e nitretos de Cr em matriz ferrítica. A liga AISI 409 é formada por carbonetos TiC, em matriz ferrítica;
2. A 700°C, as frações encontradas para precipitados superam os valores de equilíbrio, indicando necessidade de ajustes na base de dados do ThermoCalc®. As frações obtidas superam as esperadas por simulações, para ambas as ligas;
3. A liga 253 MA se mostrou mais sensível à variação de 100°C que a liga AISI 446;
4. A 600°C recomenda-se a substituição da liga AISI 446 pela liga 253 MA, tendo em vista a menor presença de fases secundárias nesta liga. A 700°C, o contrário ocorre.

## Referências

- [1] DOS SANTOS, C. D. **Estudo da formação de sigma e sua influência no potencial de pite em solução 0,6M cloreto de sódio do aço UNS S31803 envelhecido a 850 e 900°C**. Centro Universitário FEI. São Bernardo do Campo, p. 24-38. 2010.
- [2] MAGNABOSCO, R. **Influência da microestrutura no comportamento eletroquímico do aço inoxidável UNS S31803 (SAF 2205)**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 1-18. 2001.
- [3] JUNIOR, F. C. P.; REICK, W.; PADILHA, A. F. **Estudo Comparativo entre a Precipitação da Fase Sigma em um Aço Inoxidável Superferrítico e em um Aço Inoxidável Dúplex**. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 14. São Pedro - SP: [s.n.]. 2000. p. 29302-29308.
- [4] OUTOKUMPU. **Handbook of Stainless Steels**. Avesta, Sweden: [s.n.], 2013.
- [5] AQUARO, D.; PIEVE, M. High temperature heat exchangers for power plants: Performance of advanced metallic recuperators. **Applied Thermal Engineering**, n. 27, p. 389-400, 2006.