

**Nº 179421**

**Transição entre bainita superior e bainita inferior em um aço alto carbono baixa liga: correlação entre aspectos microestruturas e cinética global de transformação de fases.**

**Samuel S. Silva**  
**Dany Michell Andrade Centeno**  
**Joel Cipriano**  
**Luiz Henrique Alves**  
**Helio Goldenstein**

*Palestra apresentada CONGRESSO  
BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA  
DOS MATERIAIS, 25., 2024, Fortaleza.  
Pôster... 1 slide.*

A série “Comunicação Técnica” compreende trabalhos elaborados por técnicos do IPT, apresentados em eventos, publicados em revistas especializadas ou quando seu conteúdo apresentar relevância pública.

**PROIBIDO REPRODUÇÃO**





## TRANSIÇÃO ENTRE BAINITA SUPERIOR E BAINITA INFERIOR EM UM AÇO ALTO CARBONO BAIXA LIGA – CORRELAÇÃO ENTRE ASPECTOS MICROESTRUTURAIS E CINÉTICA GLOBAL DE TRANSFORMAÇÃO DE FASES



Samuel S. Silva<sup>a</sup>, Dany M. Centeno<sup>a,b</sup>, Joel Cipriano<sup>c</sup> Luiz Henrique Alves<sup>d</sup> e Hélio Goldenstein<sup>a</sup>

(a) Universidade de São Paulo, (b) Instituto de Pesquisas Tecnológicas, (c) Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares e (d) Universidade Federal de Juiz de Fora;

### Introdução

O intervalo de transição entre bainita superior e inferior foi caracterizado para um aço carbono baixa liga com 0,7%C em massa. A relação entre a morfologia da bainita, a temperatura de austêmpera e a cinética de transformação foi caracterizada usando dilatometria, SEM e microdureza. Morfologia e cinética foram correlacionadas com base na energia de ativação para a ocorrência da transformação.

### Materiais e Métodos

A Tabela 1 apresenta a composição química do aço estudado:

Tabela 1: composição química do aço estudado.

C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	B
0,721	0,746	0,614	0,203	0,079	0,026	0,0003

Após serem austenitizadas a 900°C por 5 minutos, amostras dilatométricas foram resfriadas a 50°C por segundo até diferentes temperaturas no intervalo de 260°C a 400°C e austêmperadas por tempos suficientes para a decomposição da austenita em cada patamar isotérmico. Para cada condição de tratamento as amostras foram caracterizadas por MEV, ótico e microdureza.

### Principais resultados

A Figura 1 apresenta um gráfico de Arrhenius considerando o tempo necessário para decomposição de 50% da austenita e a temperatura de austêmpera. As Figuras 2(a), 2(b) e 2(c) representam as microestruturas referentes respectivamente a bainita inferior, transição (inferior+superior) e bainita superior.

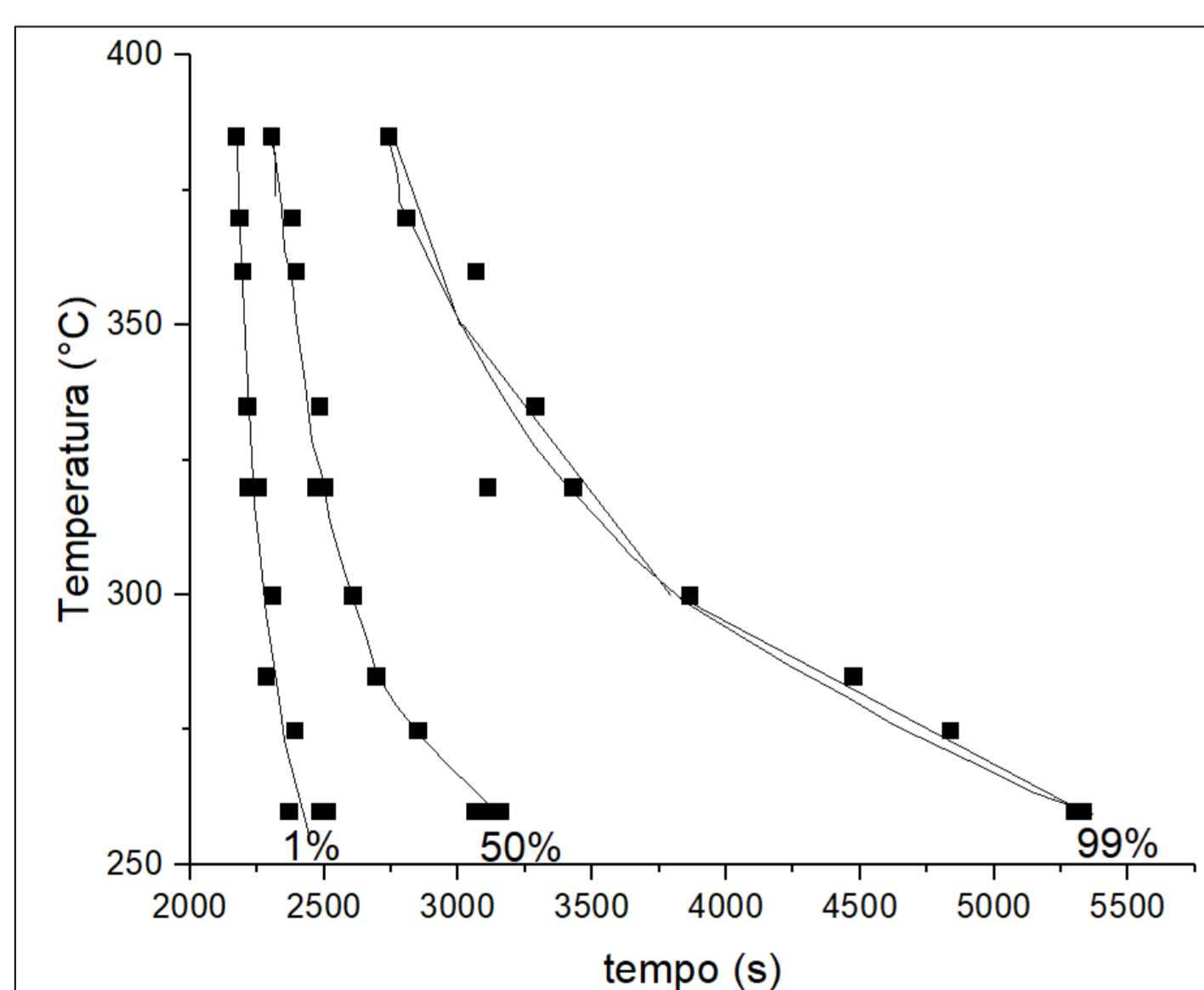


Figura 1: região de interesse do gráfico TTT para o aço em estudo

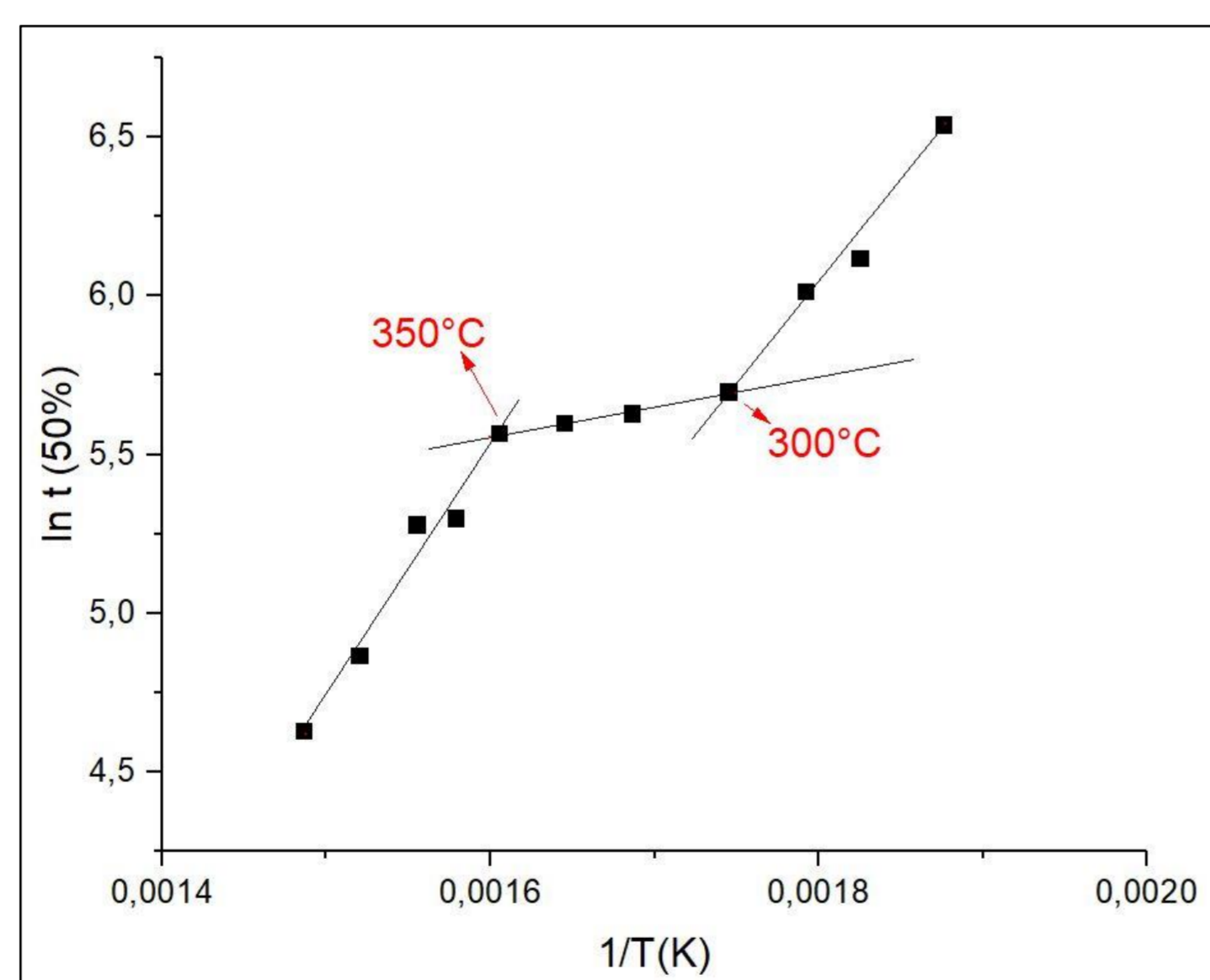


Figura 2: curva de Arrhenius para o aço em estudo na região de austêmpera

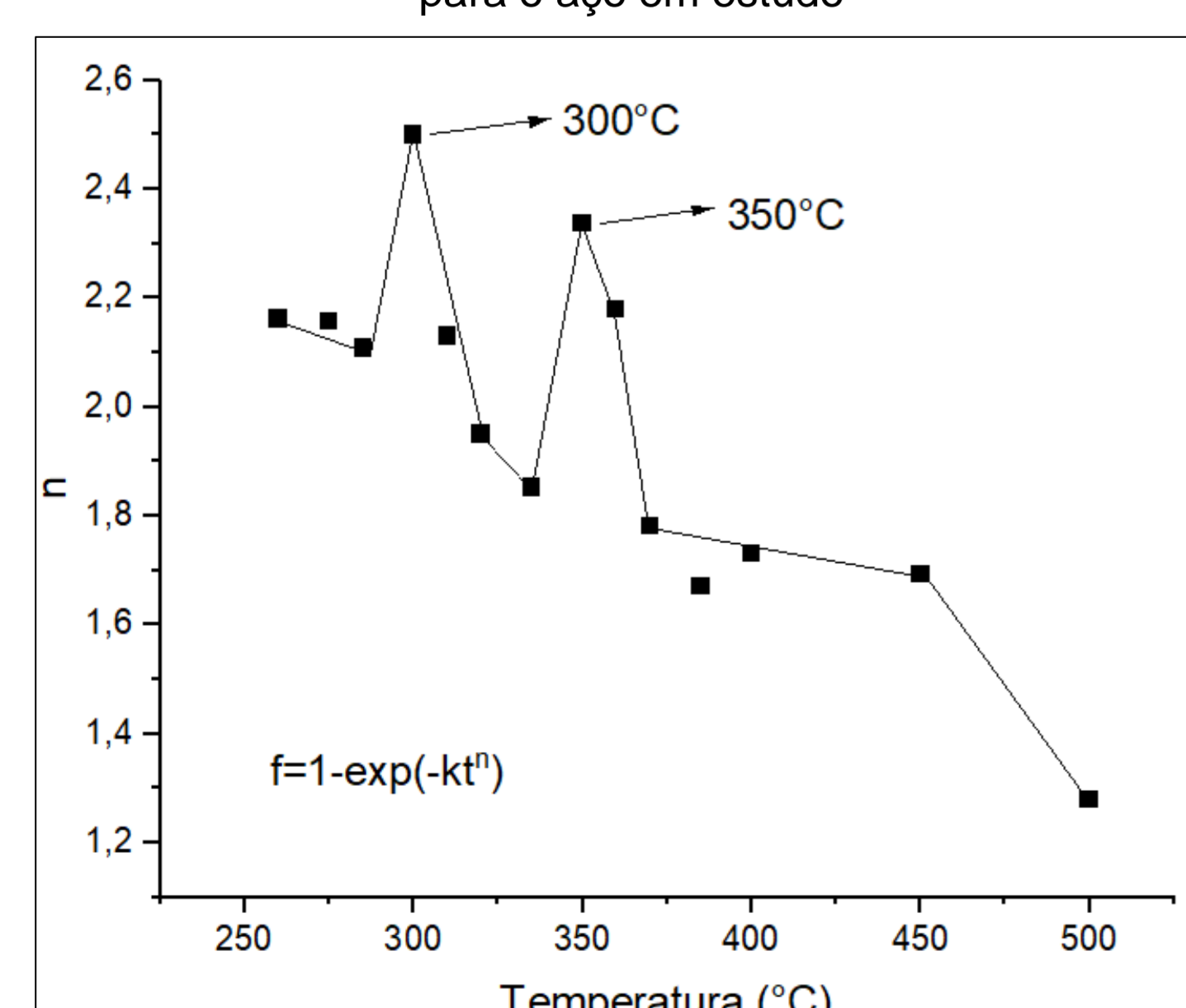


Figura 3: variação do coeficiente n do modelo JMAK em função da temperatura de austêmpera

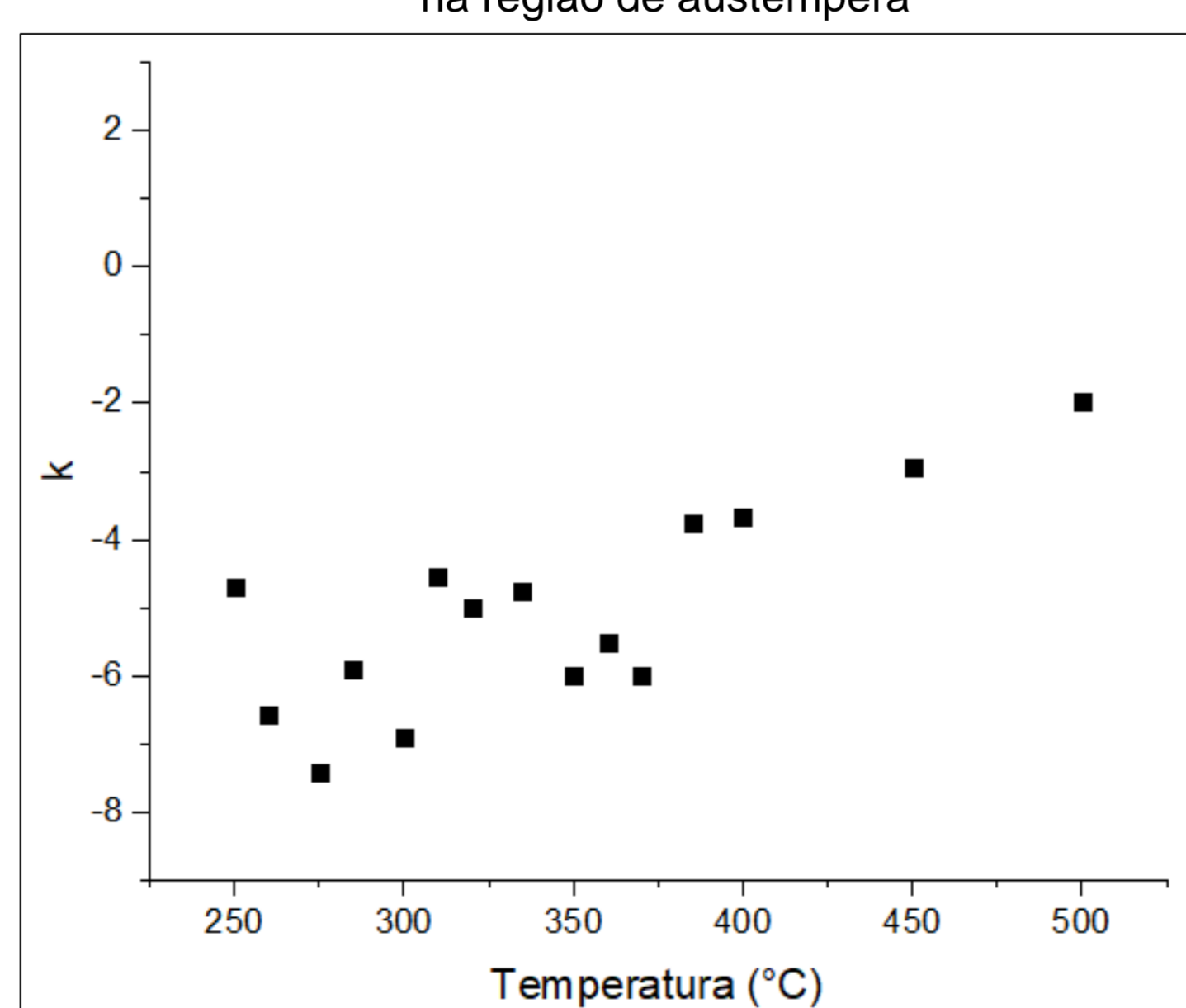


Figura 4: variação do coeficiente k do modelo JMAK em função da temperatura de austêmpera



Figura 5: microestrutura de amostra austêmpera em 275°C. MO. Nital 2%.

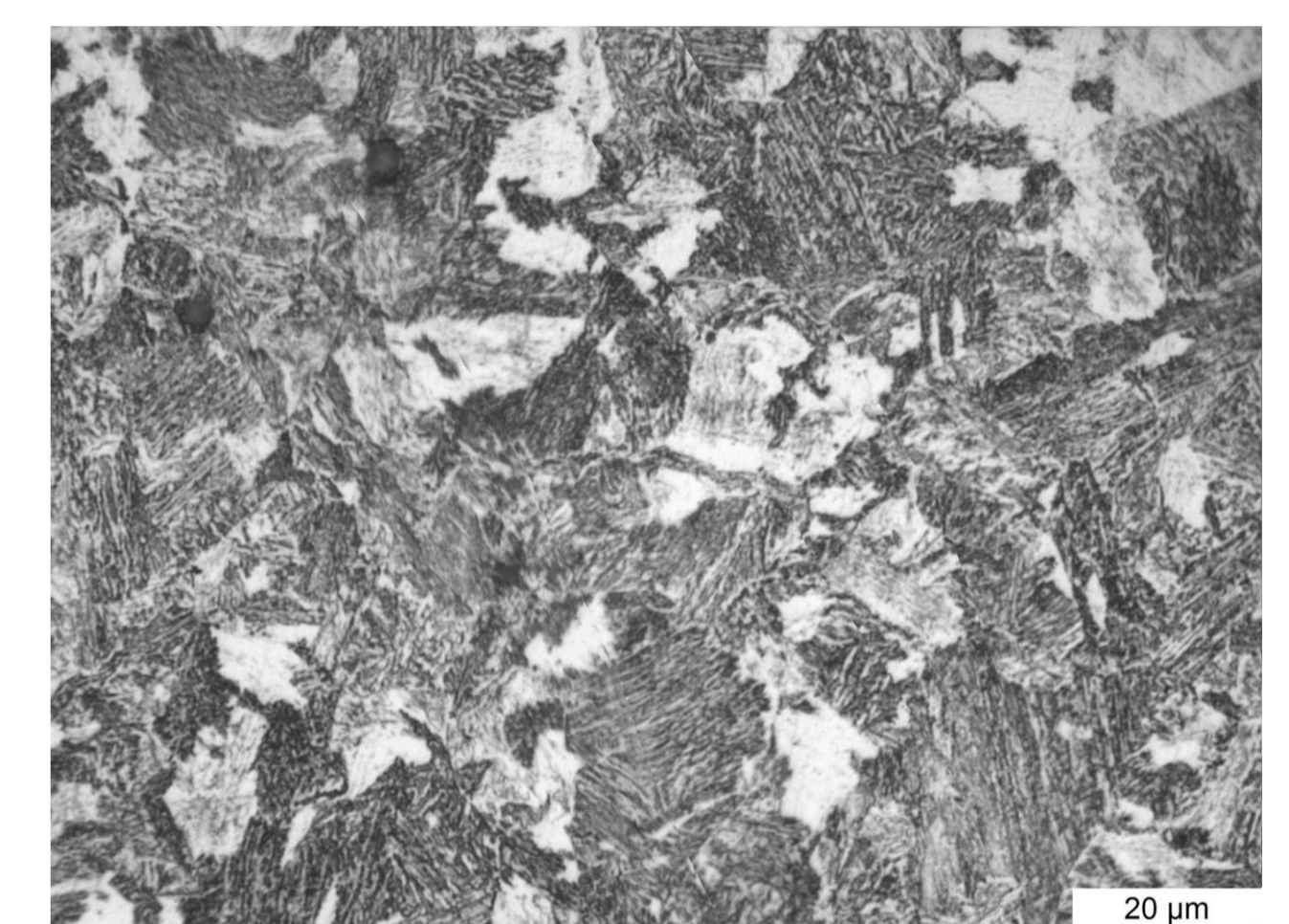


Figura 6: microestrutura de amostra austêmpera em 370°C. MO. Nital 2%.

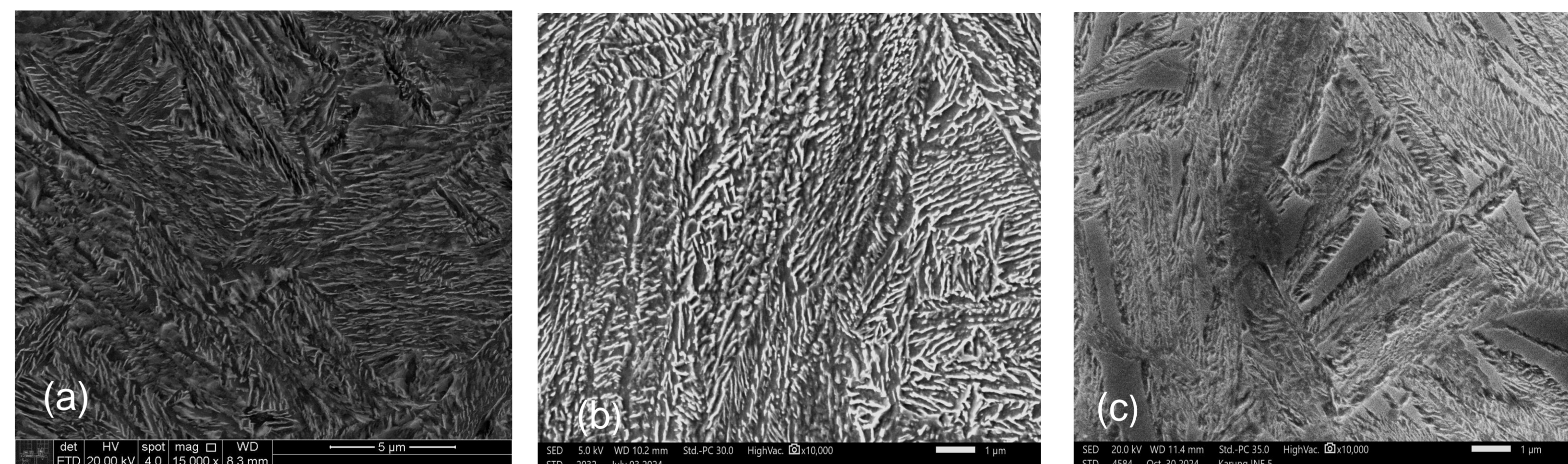


Figura 7: morfologia da bainita em função da temperatura de austêmpera. MEV. SE. Nital2%. (a) 370°C, (b) 335°C e (c) 275°C.

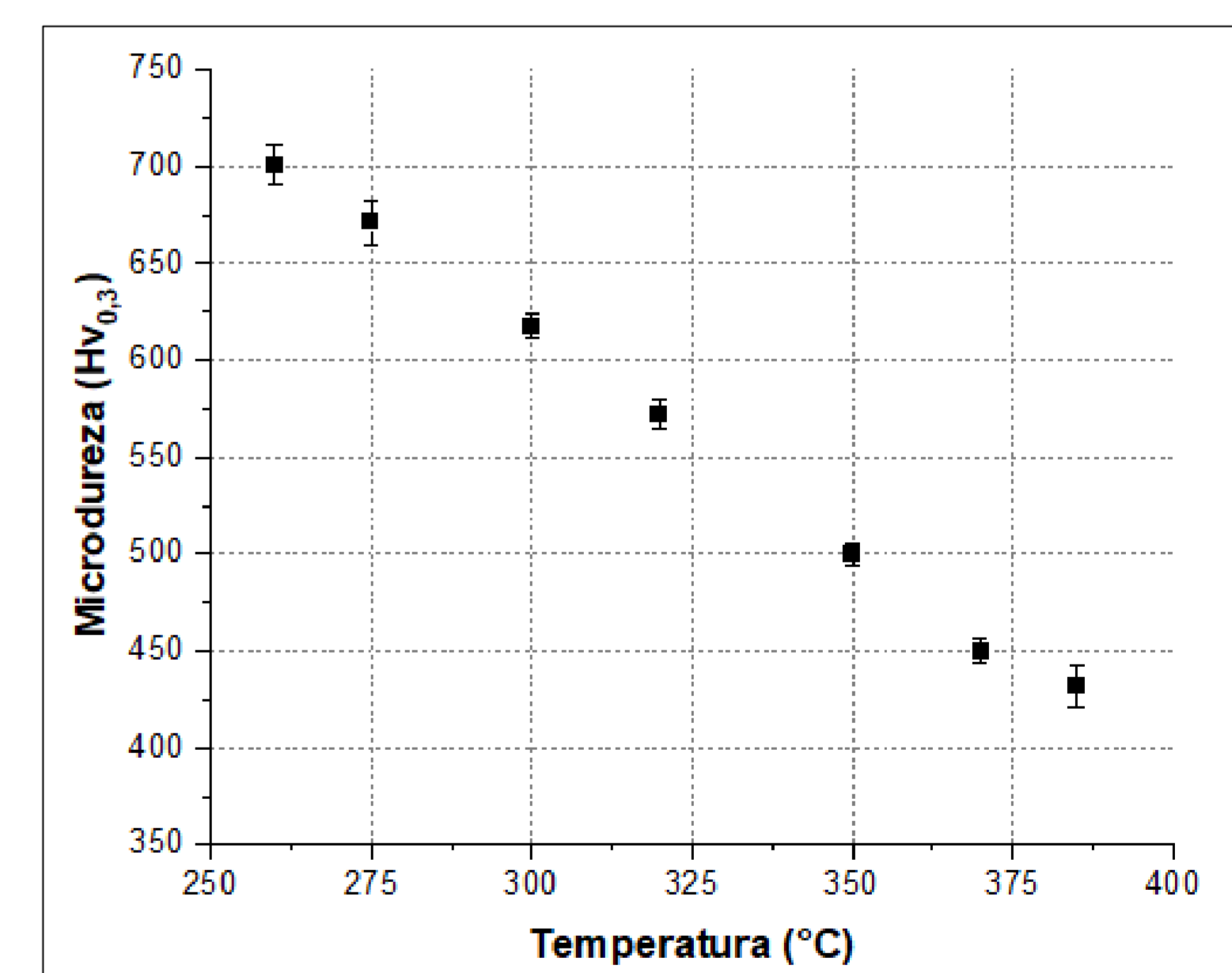


Figura 8: microdureza em função da temperatura de austêmpera para o aço estudado.

### Principais conclusões

- É possível estimar os intervalos de ocorrências das diferentes temperaturas com base nas curvas de Arrhenius e também com base nos coeficientes do modelo JMAK;
- A estimativa dos intervalos com base na curva de Arrhenius apresenta maior precisão;
- A microdureza apresenta um comportamento aproximadamente linear com a temperatura de austêmpera, ou seja, não é fortemente afetada pela morfologia da bainita;

### Referências

- [1] Bhadeshia, H. K. D. H. 2015. Bainite in Steels: Theory and Practice. 3ed. London: CRC Press
- [2] Motycka, P; Kóvér, M. 2012. Evaluation methods of dilatometer curves of phase transformations. COMAT.
- [3] Chaves, A. P. G. 2021. Relação entre a microestrutura e a resistência ao desgaste na pista de rolamento de rodas ferroviárias em suas múltiplas vidas. 168 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [4] Fang, L., Wood, W.E. & Atteridge, D.G. 1997. Identification and range quantification of steel transformation products by transformation kinetics. Metall Mater Trans A 28:5–14.

### Agradecimentos

À capes (número do processo: 88887.461595/2019-00), ao LTF (PMT/USP) e ao Laboratório de Microscopia Eletrônica da Central Analítica do IPEN.