

# ESTUDO DA RELAÇÃO ENTRE A CONCENTRAÇÃO DE ÁCIDO CLORÍDRICO E O CARBONO EQUIVALENTE DE AÇOS NA EFICIÊNCIA DE REATIVOS À BASE DE ÁCIDO PÍCRICO VISANDO A REVELAÇÃO DO GRÃO AUSTENÍTICO PRÉVIO\*

Natália Aparecida Barbosa Pimenta<sup>1</sup>  
Paulo Sérgio Moreira<sup>2</sup>  
Geraldo Lúcio de Faria<sup>3</sup>

## Resumo

A técnica de revelação dos contornos de grãos austeníticos prévios em aços é determinante para a caracterização destes materiais, visto que tal parâmetro influencia diversas propriedades do produto final. A execução dos métodos de caracterização do grão austenítico prévio em aços, no entanto, não é trivial. Sendo assim, atualmente ainda há a necessidade de se estudar estas técnicas, a fim de facilitar e fornecer diretrizes aos usuários. Diante disso, este trabalho avaliou a possibilidade de se estabelecer uma relação entre a concentração de ácido clorídrico no reativo clássico à base de ácido pícrico e o carbono equivalente do aço, a fim de revelar, eficientemente, os grãos austeníticos prévios. Foram realizados cinco procedimentos de ataque com concentrações distintas de ácido clorídrico em oito amostras de aços com diferentes composições químicas e, posteriormente, foi realizada análise da microestrutura dos materiais. Para cada aço, foi verificada a melhor condição de revelação. Os resultados obtidos mostraram que, para as concentrações de HCl estudadas, não há uma correlação clara entre o carbono equivalente e a concentração de ácido clorídrico, visto que, as melhores condições convergiram, em todos os casos, para dois únicos valores de concentração.

**Palavras-chave:** Grão austenítico prévio; ácido pícrico; ácido clorídrico, carbono equivalente.

## STUDY ABOUT THE CONCENTRATION OF HYDROCHLORIC ACID AND THE EQUIVALENT CARBON OF STEELS RATIO ON THE EFFICIENCY OF REACTIVES BASED ON PICRIC ACID FOR THE REVELATION OF THE PRIOR AUSTENITE GRAIN

### Abstract

The technique of revealing the prior austenite-grain boundaries in steels is determinant for a proper characterization of these materials, since this parameter influences several properties of the final product. However, the execution of methods with the aim to characterize the prior austenite-grain in steels is not easy. Therefore, nowadays, there is still a need to study these techniques, in order to improve them and provide guidelines to users. This work evaluated the possibility of establishing a relationship between the concentration of hydrochloric acid in the classic picric acid reactive and the equivalent carbon of the steel in order to efficiently reveal the prior austenite-grain boundaries. Five etching procedures with distinct concentrations of hydrochloric acid in eight samples with different chemical compositions were carried out, afterwards, the microstructure of the material was analyzed. For each steel, the best revealing condition was verified. The obtained results showed that there was no correlation between the equivalent carbon and the hydrochloric acid concentration for the studied range, since the best conditions converged for two single concentration values.

**Keywords:** Prior austenite grain; picric acid; hydrochloric acid; equivalent carbon.

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Metalúrgica, Estudante, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

<sup>2</sup> Engenheiro Metalúrgico, MSc., Pesquisador, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil

<sup>3</sup> Físico, Dr., Professor, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, UFOP, Ouro Preto, MG, Brasil.

## 1 INTRODUÇÃO

O conhecimento do tamanho de grão da austenita pode ser essencial no desenvolvimento e controle de processos de tratamentos térmicos ou termomecânicos, além de determinante para processos de análise de falhas. Em vista disso, o desenvolvimento de ataques efetivos para revelar contornos de grãos austeníticos prévios em aços com diferentes composições químicas, microestruturas e propriedades, mostra-se de grande importância para diversos segmentos que utilizam produtos de aço termicamente tratados, ou termomecanicamente processados [1,2].

Entretanto, o processo para revelar contornos de grãos austeníticos depende da composição química do aço, do tratamento térmico a que ele foi submetido, além de outros fatores ainda não bem identificados. Com isso, este processo pode se tornar uma difícil tarefa para aços médio carbono microligados [3].

Segundo Andrés *et al.* (2001) diferentes técnicas metalográficas e tratamentos térmicos de pós-austenitização são utilizados para visualizar os grãos austeníticos em temperatura ambiente. Uma destas técnicas é denominada ataque químico, na qual se utiliza de um reativo químico baseado em solução aquosa saturada em ácido pícrico, combinado com um agente umectante. Segundo os próprios autores, esta técnica parece alcançar os melhores resultados para aços temperados e revenidos [3].

Além deste, dois outros importantes e bastante utilizados métodos de revelação de contornos de grãos austeníticos são citados por García de Andrés *et al.* (2001), que são revelação por ataque térmico e ataque por oxidação. O ataque térmico consiste em austenitizar uma amostra com superfície devidamente polida na presença de uma atmosfera inerte e pressão controlada. Sulcos irão se formar na superfície da amostra, onde se tem interseções dos contornos de grão da austenita. Estes sulcos, portanto, tornarão os contornos de grão da austenita visíveis à temperatura ambiente [3,4].

O ataque por oxidação consiste em aquecer uma amostra com a superfície polida em um forno com uma atmosfera oxidante. Os contornos de grão austeníticos serão revelados tanto por acúmulo de oxidação, quanto por descarburização preferencial na região de interesse [3].

Cardoso (2016) apresentou em um de seus estudos, um método bastante eficiente para a revelação de antigos contornos de grãos austeníticos de aços ABNT 1030 e ABNT 4340. Esta técnica consiste no aquecimento das amostras até a completa austenitização em um forno com atmosfera inerte, no qual a oxidação é controlada pela passagem contínua de gás de argônio promovendo a oxidação localizada na região dos contornos dos grãos austeníticos prévios. Logo após o tempo adequado de permanência das amostras no forno, elas são submetidas a um tratamento térmico de têmpera em água à temperatura ambiente e então polidas e atacadas com intuito de tornar os mais nítidos contornos revelados. Segundo o próprio autor, este foi o método mais eficaz para revelar os antigos contornos de grão dos aços em questão, em relação a todas as técnicas avaliadas pelo mesmo [5,6].

A técnica de ataque químico foi estudada por Ferdian *et al.* (2013), que propôs o uso de um agente umectante na solução saturada em ácido pícrico a fim de melhorar a detecção dos contornos de grãos austeníticos de um aço baixo-carbono deformado a quente, quando submetido a ataque químico utilizando este reagente. Seu resultado foi satisfatório, visto que o uso desta condição de ataque tornou os contornos de grão mais visíveis [7].

A adição de ácido clorídrico na solução saturada em ácido pícrico é particularmente importante para aços muito ligados, especialmente aqueles com alto teor de cromo em sua composição. Segundo Brewer *et al.* (1991), quanto maior a quantidade de carbono na liga, menor a quantidade de HCl requerida na solução [8]. Entretanto, não foi encontrado na literatura um estudo que investigasse se há, de fato, uma relação entre a concentração do ácido clorídrico e o carbono equivalente do aço a ser atacado.

Em vista disso, este trabalho visa verificar se existe, ou não, uma relação bem definida entre a quantidade de HCl utilizada na solução de um reativo baseado em ácido pícrico eo carbono equivalente de aços que possuam diferentes composições químicas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para o desenvolvimento desse estudo, foram utilizadas oito amostras de aços, com diferentes composições químicas, a fim de possibilitar a avaliação da técnica em diferentes tipos de aço. A Tabela 1 mostra a composição química das amostras, obtidas pela técnica de espectrometria de emissão óptica.

Tabela 1. Composição química dos aços estudados (% em massa)

Aço	Elemento										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Nb	Ti	V
A	0,156	0,16	0,611	0,02	0,026	0,029	0,013	0,025	0,005	0,001	0,003
B	0,097	0,281	0,951	0,022	0,003	0,601	0,581	0,017	0,01	0,022	0,041
C	0,19	0,288	0,865	0,025	0,027	0,056	0,246	1,61	0,003	0,002	0,005
D	0,469	0,234	0,7	0,02	0,015	0,028	0,019	0,018	0,004	0,001	0,002
E	0,438	0,253	1,74	0,025	0,006	0,006	0,026	0,011	0,003	0,001	0,002
F	0,411	0,273	0,703	0,03	0,012	0,711	0,224	1,64	0,008	0,003	0,006
G	0,421	0,313	0,696	0,023	0,024	0,618	0,321	1,53	0,008	0,003	0,008
H	0,89	0,236	0,677	0,019	0,013	0,169	0,012	0,016	0,006	0,001	0,002

### 2.1 Procedimentos Experimentais

#### 2.2.1 Caracterização do estado de entrega

As oito amostras utilizadas para o estudo foram previamente caracterizadas a fim de se conhecer a microestrutura inicial das mesmas, apenas a título de verificação da correspondência de cada amostra com a sua respectiva denominação, não cabendo, portanto, a apresentação destas imagens no presente trabalho.

Todas estas amostras passaram pela etapa de preparação metalográfica, que consistiu em: desbaste, com lixa de cinta grão 80 *mesh*; lixamento, com as lixas 120, 220, 320, 400, 600 e 1200 *mesh*, respectivamente; polimento, com suspensão aquosa de alumina de 1 micrometro e pastas de diamante de 1 micrometro e de 0,25 micrometros. Em seguida, as amostras foram atacadas quimicamente com o reativonital 4%, composto por 96% de álcool etílico e 4% de ácido nítrico.

Após este processo, foram adquiridas imagens da microestrutura, com aumentos de 100, 200, 500 e 1000 vezes por intermédio de um Microscópio Óptico da marca LEICA, modelo DM2700, com uma câmera de vídeo acoplada para captura de imagem da marca LEICA, modelo MC170HD.

### 2.2.2 Tratamento térmico

Após a caracterização inicial das amostras, elas foram tratadas termicamente, com intuito de se obter uma microestrutura martensítica. As amostras foram inicialmente aquecidas a uma temperatura de 1000°C durante 25 minutos, tempo suficiente para garantir que todas as amostras, desde o núcleo até a superfície, se encontrassem na mesma temperatura, para que o tratamento térmico seja efetivo. Garantida esta condição, as amostras foram aquecidas por mais 15 minutos e então resfriadas imediatamente em água a temperatura ambiente, a fim de realizar um tratamento térmico de têmpera.

Desta forma, fez-se necessário uma nova caracterização metalográfica e obtenção de imagens das novas microestruturas resultantes dos tratamentos térmicos de têmpera efetuado nas amostras estudadas. Esta caracterização teve como objetivo apenas constatar o aparecimento da estrutura martensítica obtida pelo tratamento térmico realizado, não sendo relevante a apresentação destas imagens no presente trabalho.

### 2.2.3 Ataque químico “Teepol”

A proposta deste estudo é avaliar se existe uma relação bem definida entre a quantidade de HCl utilizada na solução de um reativo à base de ácido pícrico com o carbono equivalente de determinados aços. Para isto, o reativo químico utilizado foi composto por 3g de ácido pícrico, 240ml de água destilada e 10 gotas de detergente neutro. A variável do processo é, então, a quantidade de ácido clorídrico na solução, que foi utilizada em cinco diferentes concentrações. A Tabela 2 mostra as concentrações de HCl avaliadas.

**Tabela 2.** Concentrações de HCl avaliadas nesse estudo

Concentração de HCl (ml)	
Teepol 1	0,5
Teepol 2	1,0
Teepol 3	1,5
Teepol 4	2,0
Teepol 5	2,5

Na medida em que cada condição de ataque químico era realizada, a microestrutura das amostras era obtida por intermédio de microscopia óptica, para ser analisada posteriormente, avaliando o resultado obtido de cada amostra em função da concentração de HCl utilizada.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Cálculo do Carbono Equivalente dos Aços Amostrados

Na Tabela 3 são mostrados os valores do carbono equivalente dos aços estudados, calculados por meio da Equação 1 [9].

$$C.E. = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad (1)$$

**Tabela 3.** Valores do carbono equivalente de cada aço avaliado (% em massa)

Aço	Carbono Equivalente (%)
A	0,27
B	0,50
C	0,50
D	0,60
E	0,69
F	0,83
G	0,84
H	1,04

#### 3.2. Descrição das Imagens

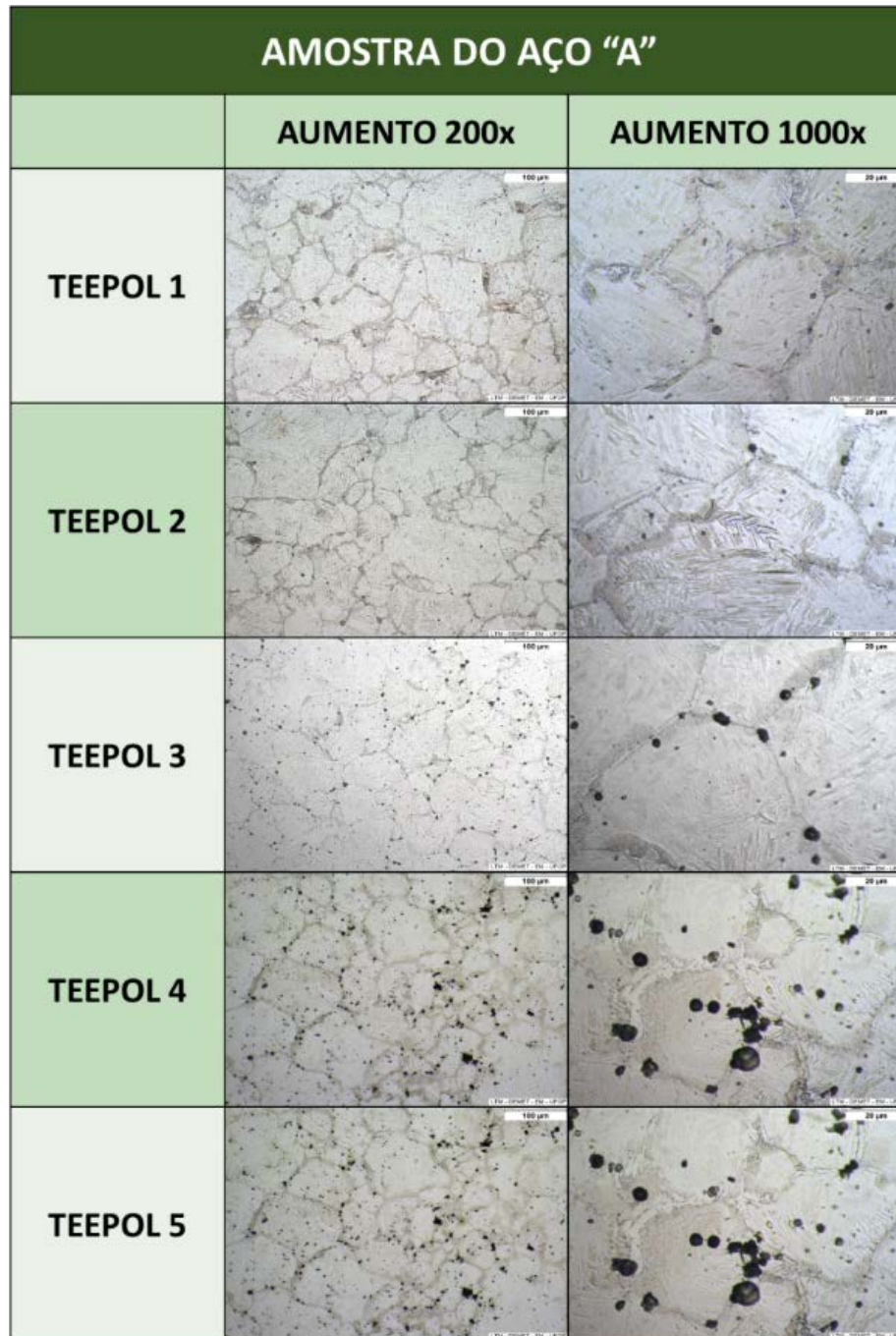
A eficiência do reativo foi avaliada em relação à qualidade da imagem obtida para cada condição, mostrando-se mais eficiente aquela em que os grãos austeníticos prévios tenham sido revelados com maior nitidez, menor tempo de ataque e com a menor ocorrência possível de pites de corrosão.

A Figura 1 mostra a microestrutura da amostra do aço “A”. Este é um aço baixo carbono, que, devido à sua composição, atende à classe de aços ABNT 1015. Para esta amostra, com 3 minutos de ataque, os contornos de grãos foram revelados utilizando-se a condição de Teepol 1. Porém, utilizando-se o Teepol 2, os grãos também foram revelados nitidamente e com um menor tempo de ataque, 2 minutos. Desta forma, esta última condição se mostra como a mais adequada para revelar os grãos austeníticos prévios deste tipo de material, visto que, nas condições de Teepol 3, 4 e 5, começa a ocorrer grande quantidade de pites de corrosão, que aumentam à medida que a concentração de HCl na solução aumenta.

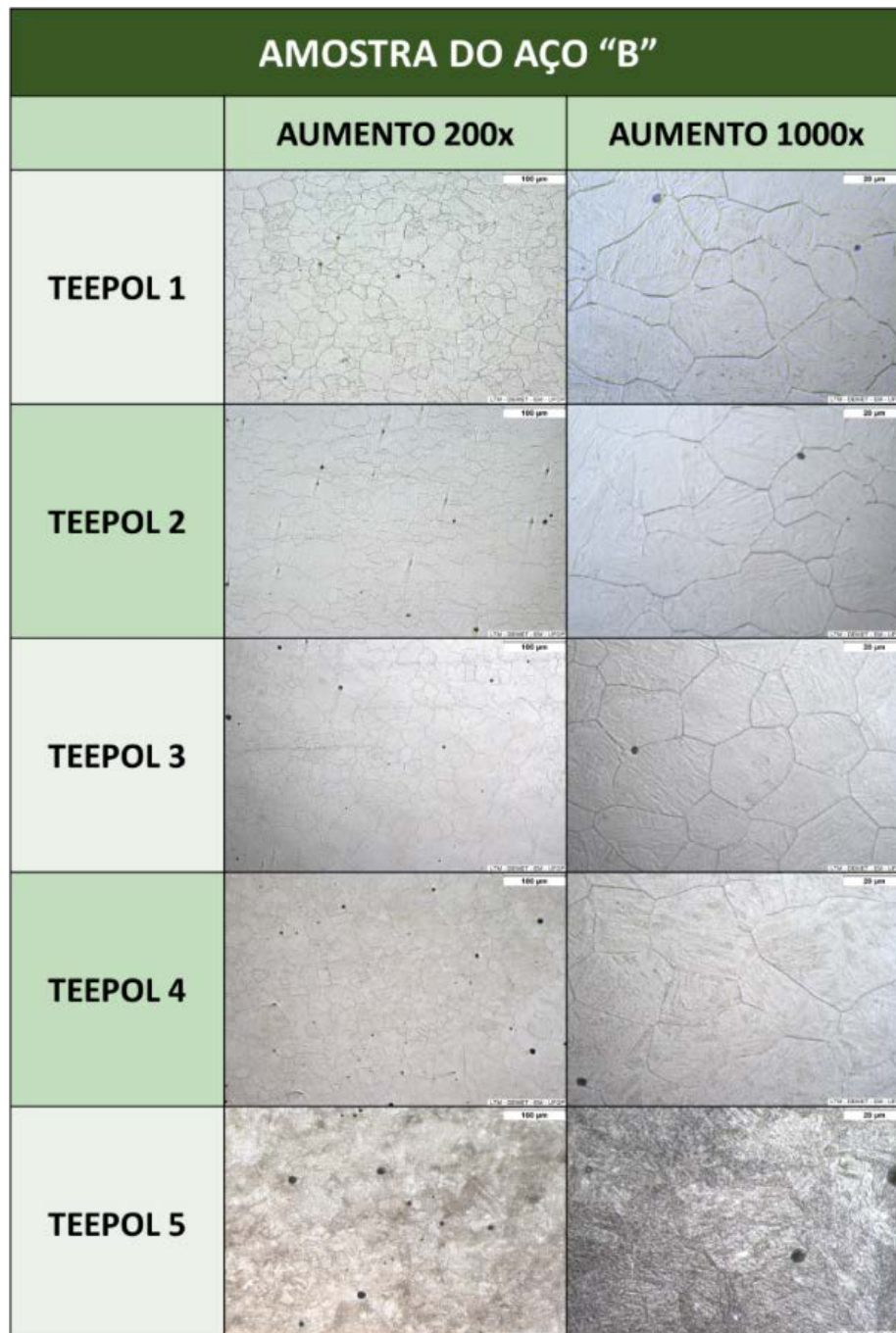
A Figura 2 mostra a microestrutura da amostra do aço “B”. Esta amostra se caracteriza por ser um aço baixo carbono, que atenderia à classe de aços Usisar 80T. Nesta figura pode-se observar que o ataque na condição de Teepol 1 revelou de forma eficiente os contornos de grãos, sendo necessários 10 minutos de ataque. Na condição do Teepol 2, também revelou de forma eficiente os contornos, além do tempo de ataque ter sido reduzido para 2 minutos. O mesmo ocorreu para a condição de Teepol 3, porém, reduzindo-se ainda mais o tempo de ataque para 60 segundos, sendo assim, a melhor condição de ataque para este tipo de aço. Para a condição de Teepol 4, aos 25 segundos de ataque verificou-se uma quantidade



significativa de pites de corrosão e para a condição de Teepol 5, a amostra apresenta-se intensamente corroída com apenas 15 segundos de ataque.



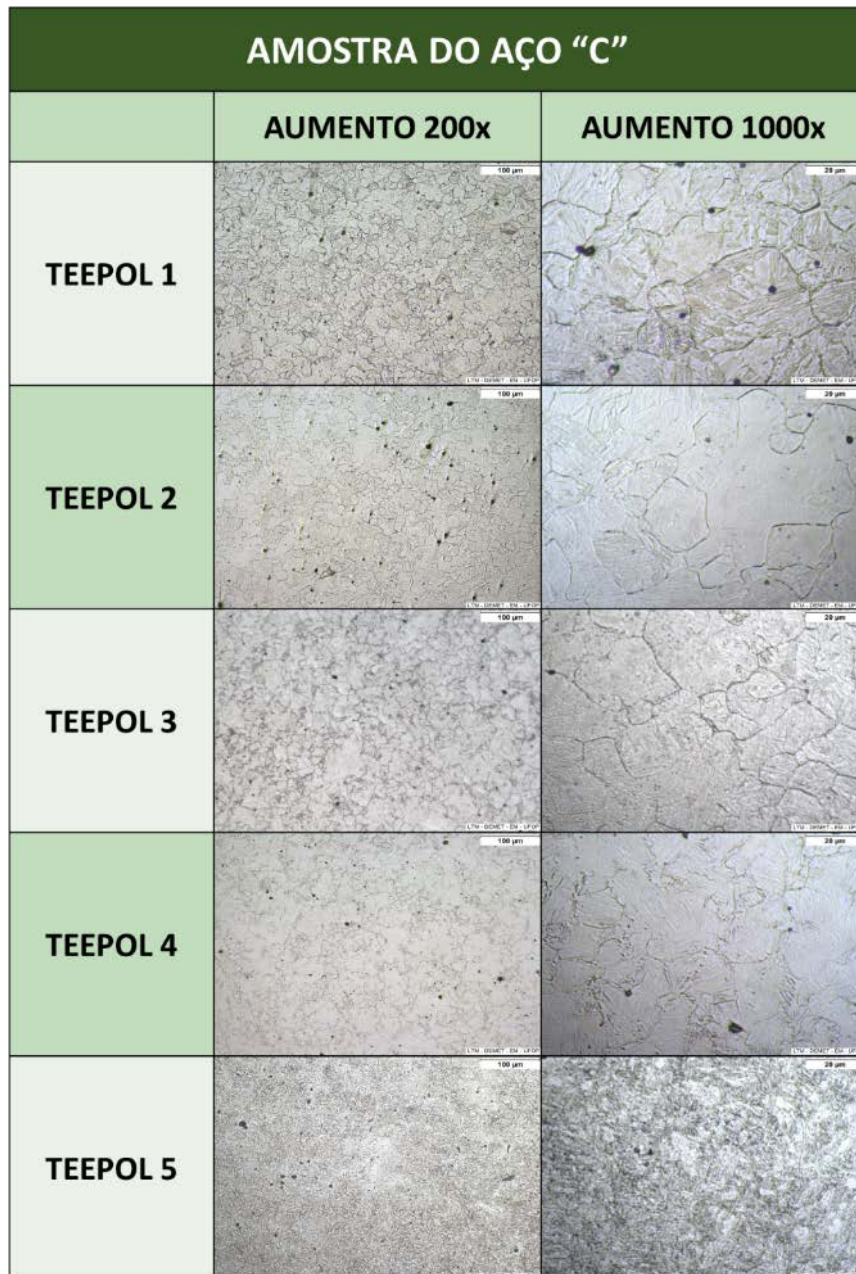
**Figura 1.** Microestrutura da amostra do aço "A" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.



**Figura 2.** Microestrutura da amostra do aço "B" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.

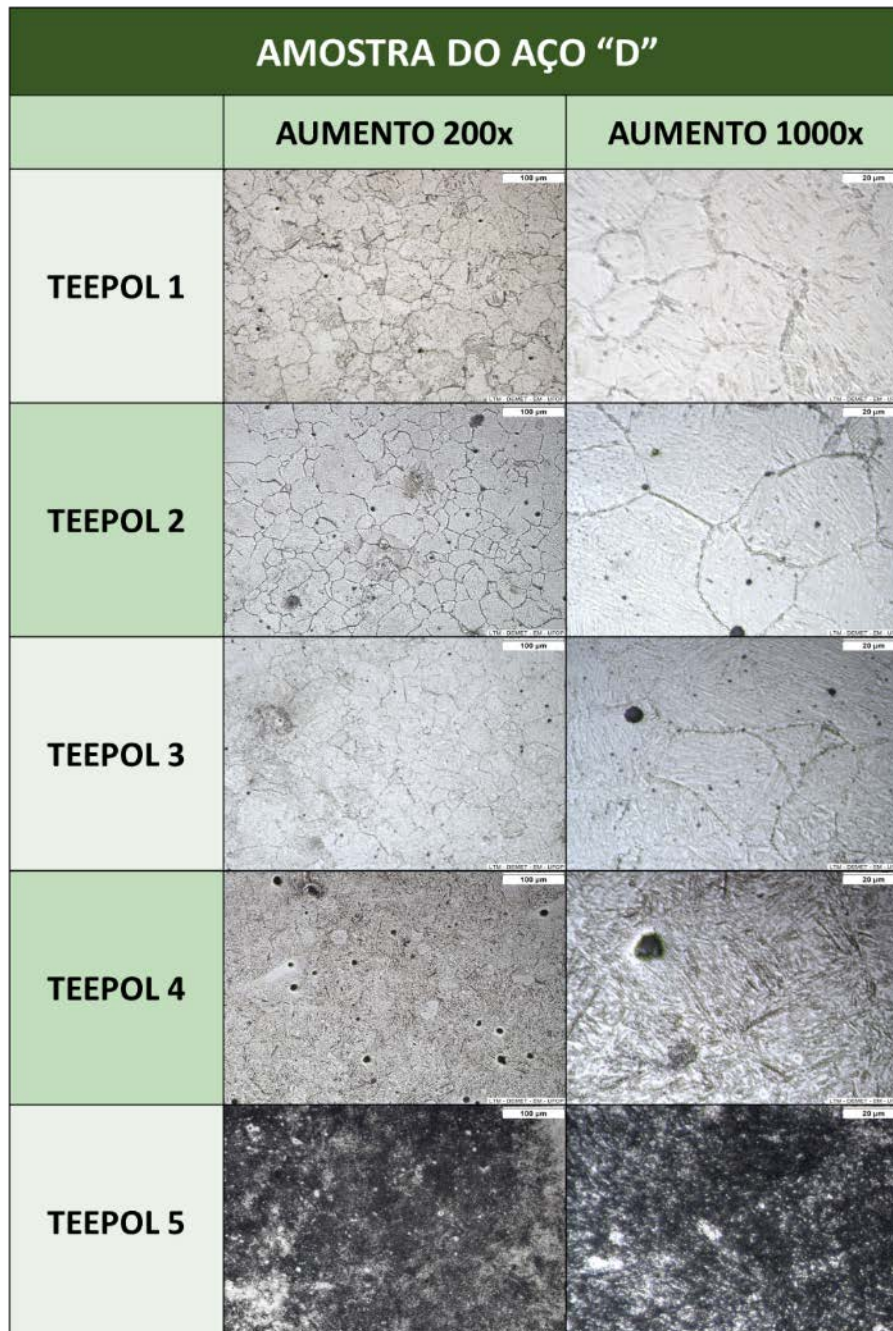
A Figura 3 mostra a microestrutura da amostra do aço “C”, que devido à composição química atenderia à classe de aços ABNT 8620(VB20). Nesta amostra, os grãos austeníticos prévios foram revelados com 10 minutos de ataque na condição do Teepol 1, porém, a estrutura apresentou um contraste confuso entre os grãos austeníticos prévios e agulhas de martensita parcialmente reveladas. Além disto, há ocorrência de pites de corrosão. Para a condição de Teepol 2, os grãos foram revelados parcialmente e as agulhas de martensita deixaram de ser tão evidentes. O tempo de ataque foi de 3 minutos. Já para a condição de Teepol 3, os contornos de grão foram revelados de forma mais nítida com 90 segundos de ataque, podendo esta condição então, ser considerada a melhor para este tipo de aço. Para a condição de Teepol 4, os grãos não foram revelados de forma eficiente e aos 25 segundos de ataque, já apresentou pites de corrosão. Na condição de Teepol 5, aos 15 segundos de ataque a amostra estava intensamente corroída.





**Figura 3.** Microestrutura amostra do aço "C" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.

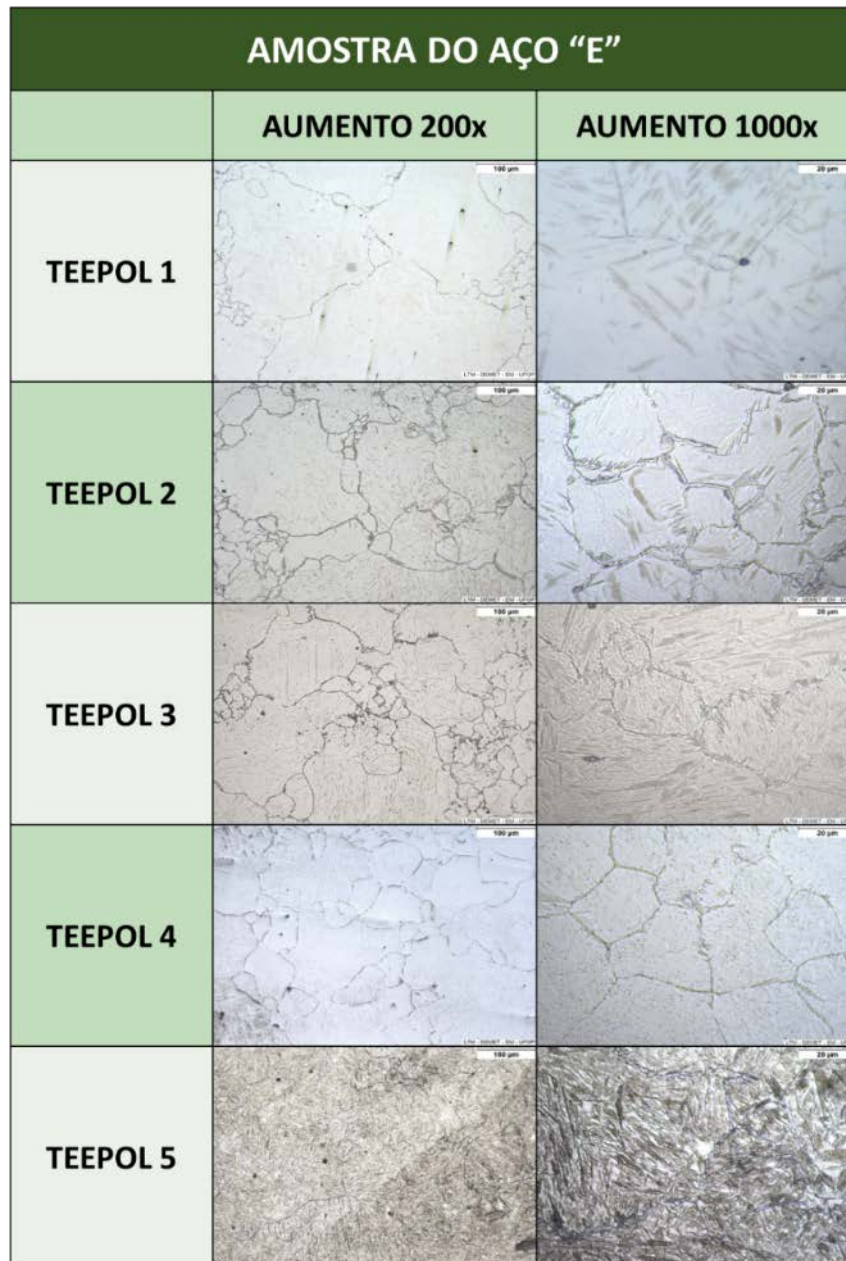
A Figura 4 mostra a microestrutura do aço "D", que possui médio teor de carbono e atende à classe de aços ABNT 1045. Para este aço, o ataque na condição de Teepol 1 revelou os grãos nitidamente em um tempo de 3,5 minutos. Porém, na condição de Teepol 2 os grãos foram revelados ainda com maior nitidez e com um tempo de ataque de 3 minutos, mostrando desta forma, ser a melhor condição de ataque para este tipo de aço. Já na condição de Teepol 3, os grãos foram parcialmente revelados com 2,5 minutos e se inicia a ocorrência de pites de corrosão. Na condição de Teepol 4, com 20 segundos de ataque, há o início de revelação da estrutura martensítica e não revelação dos grãos austeníticos prévios. Na condição de Teepol 5, como se pode notar, a sua superfície da amostrase encontra extremamente corroída com apenas 10 segundos de ataque.



**Figura 4.** Microestrutura amostra do aço "D" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.

A Figura 5 mostra a microestrutura da amostra do aço "E" estudado. É um aço médio carbono que se enquadraria como um aço ABNT 1345. Nota-se que para a condição do Teepol 1, os contornos de grão foram revelados de forma eficiente com 70 segundos de ataque. Para a condição do Teepol 2, os contornos foram revelados de forma ainda mais eficiente em relação ao Teepol 1, porém, com um tempo de 90 segundos de ataque. Já a condição do Teepol 3 revelou os contornos de grão de forma eficiente com 30 segundos de ataque, mostrando ser a melhor condição para revelar os contornos de grão austeníticos para este tipo de aço. A condição de Teepol 4 não revelou a estrutura austenítica de forma nítida e a condição de Teepol 5, como se pode notar, promoveu uma corrosão intensa na amostra com apenas 10 segundos de ataque.

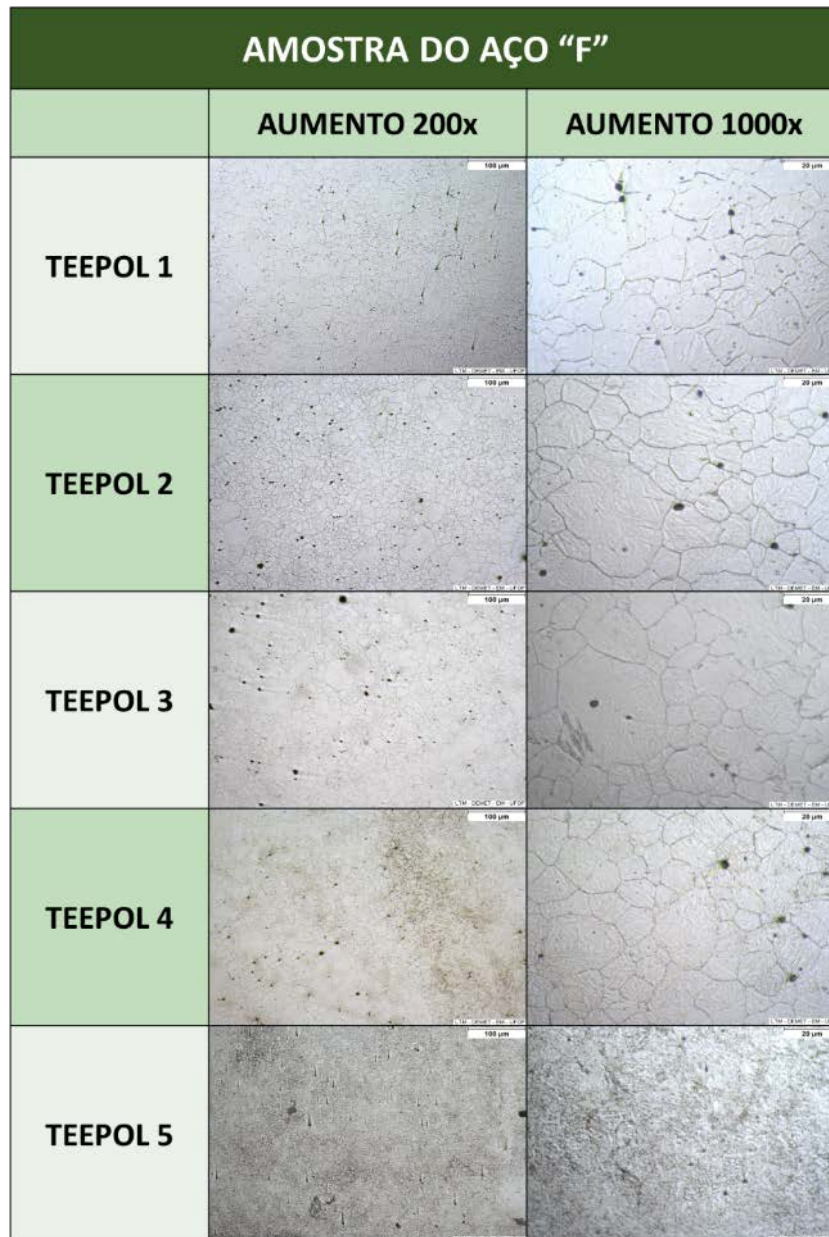




**Figura 5.** Microestruturas da amostra de aço "E" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.

A Figura 6 mostra a microestrutura da amostra de um aço médio carbono, designado por "F" e que possui uma composição química que atende à classe de aços ABNT 4340 (VM40). Como se pode notar, na condição de Teepol 1, os grãos foram revelados de forma nítida, porém, apresentou pites de corrosão com 5 minutos de ataque. Na condição de Teepol 2, os grãos foram revelados satisfatoriamente com 3 minutos de ataque. Já na condição de Teepol 3, os grãos foram revelados, mas com a ocorrência excessiva de pites de corrosão com 2 minutos de ataque. Na condição de Teepol 4, os grãos foram revelados com 50 segundos de ataque, revelando também um pouco da microestrutura. Além disso, houve um excesso de pites de corrosão na superfície da amostra. Na condição de Teepol 5, aos 10 segundos de ataque, já havia uma corrosão intensa na superfície da amostra, não tendo revelado nem os contornos de grãos austeníticos prévios e nem a microestrutura. Logo, a

condição mais adequada de ataque para este tipo de aço é a do Teepol 2, visto que revelou os grãos de maneira satisfatória, em menor tempo que a condição anterior.

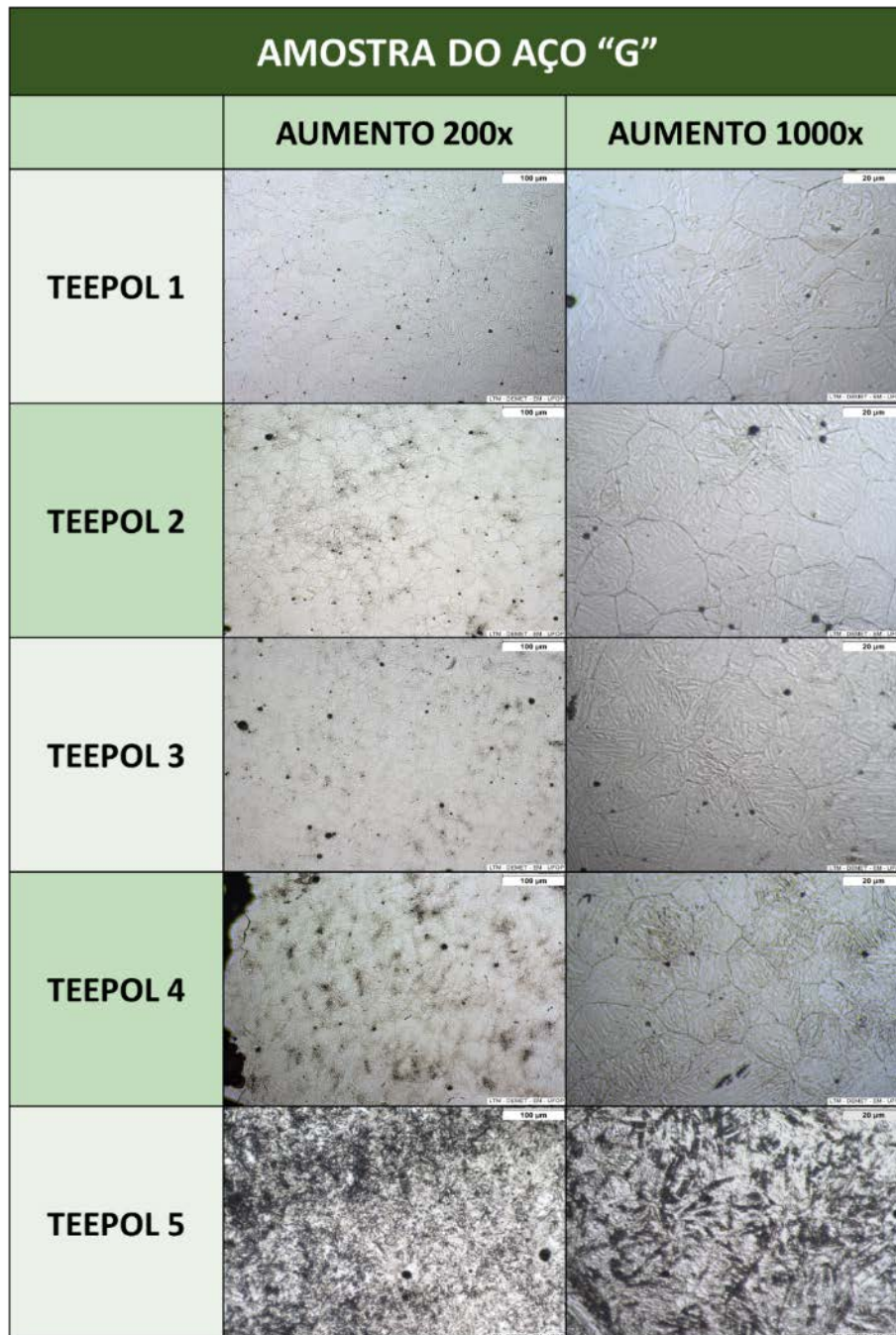


**Figura 6.** Microestrutura da amostra do aço "F" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.

A Figura 7 mostra a microestrutura da amostra do aço "G", que se caracteriza por um aço médiocarbono, podendo atender à classe de aços do tipo ABNT 4340 com teores ligeiramente inferiores de Mn e Ni em relação ao VM40. Na condição de Teepol 1, os grãos foram revelados com um tempo de ataque de 5 minutos. Porém, nota-se a revelação parcial de estrutura martensítica e ocorrência de pites de corrosão. Na condição do Teepol 2, os grãos foram revelados com 3 minutos de ataque, mas com a presença de pites de corrosão na superfície da amostra. Tendo em vista os resultados obtidos para as condições de Teepol 3, 4 e 5, nas quais a revelação dos grãos não foi satisfatória, ocorrendo, inclusive, grande quantidade de pites de corrosão, a condição do Teepol 2 mostrou ser a mais indicada para se



utilizar na revelação de contornos de grão austenítico prévio para esta classe de aços.

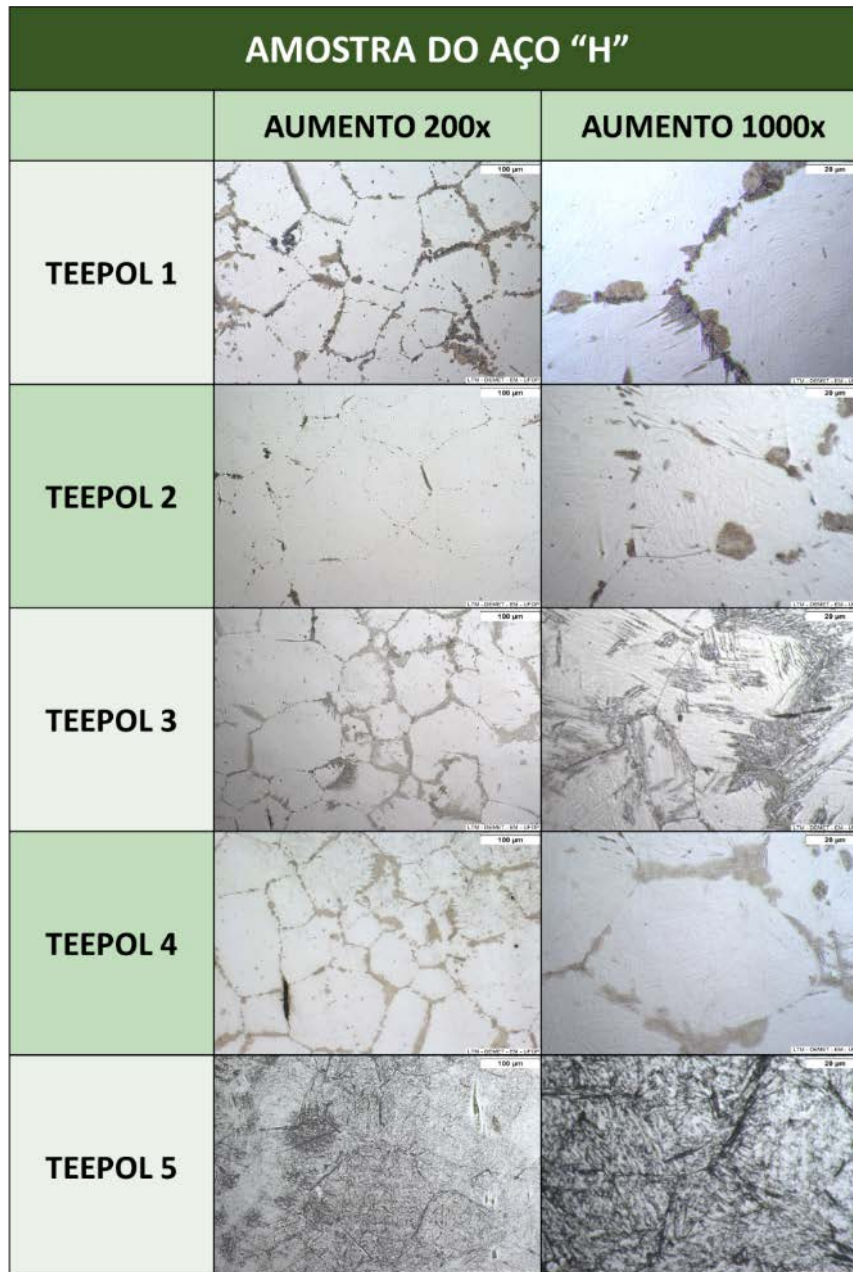


**Figura 7.** Microestrutura da amostra do aço "G" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.

A Figura 8 mostra a microestrutura da amostra do aço "H" estudado. Este aço possui um alto teor de carbono e pode atender à classe de aços Eutetoide. Na condição de Teepol 1, nota-se que os grãos austeníticos prévios da estrutura foram parcialmente revelados com um tempo de 3 minutos e 30 segundos de ataque. Na condição de Teepol 2, com 2 minutos de ataque, obteve-se um resultado pior do que a condição de Teepol 1, com os grãos ligeiramente revelados. Quando a condição do Teepol 3 foi utilizada, os contornos de grãos foram melhor delineados, com 2 minutos de ataque. Já na condição de Teepol 4, com 40 segundos de ataque, os contornos de



grão austeníticos prévios estão bem evidenciados, porém, há início do aparecimento da microestrutura martensítica. Para a condição de Teepol 5, com apenas 10 segundos de ataque, a amostra apresenta intensa corrosão, revelando parcialmente a sua microestrutura. Por isso, pode-se afirmar que a condição de Teepol 3 foi a mais adequada para revelar contornos austeníticos prévios para estes tipos de aços.



**Figura 8.** Microestrutura da amostra do aço "H" em diferentes condições de ataque com aumentos de 200 e 1000 vezes.

### 3.3. Tabela de Correlação

A Tabela 4 tem o intuito de deixar mais clara e didática a apresentação das condições mais eficientes na revelação dos contornos de grãos austeníticos prévios para cada aço estudado, em ordem crescente de carbono equivalente.

**Tabela 4.** Resumo das melhores condições de reativo obtidas para cada tipo de aço

Aço	Carbono Equivalente	Teepol 1 (0,5 ml)	Teepol 2 (1,0 ml)	Teepol 3 (1,5 ml)	Teepol 4 (2,0 ml)	Teepol 5 (2,5 ml)
A	0,27		X			
B	0,50			X		
C	0,50			X		
D	0,60			X		
E	0,69			X		
F	0,83		X			
G	0,84		X			
H	1,04			X		

Diante destes resultados, nota-se uma tendência para os valores de HCl ideais em uma eficiente revelação de grãos austeníticos prévios, que oscilam entre 1,0ml e 1,5ml, independentemente do valor de carbono equivalente, não havendo, portanto, uma relação bem definida entre estes dois parâmetros, no intervalo adotado.

Por outro lado, os resultados deste trabalho mostram que as condições ideais de concentração de ácido clorídrico adicionada ao reativo, encontram-se em torno do que é utilizado em práticas comuns de laboratórios no Brasil (1,0ml).

Mesmo não tendo sido verificada uma correlação entre concentração do ácido com o carbono equivalente dos aços, os resultados obtidos neste trabalho podem ser utilizados como referência para a aplicação da técnica baseada em reativos à base de ácido pícrico e clorídrico visando a revelação dos grãos austeníticos prévios em diferentes tipos de aços.

#### 4 CONCLUSÕES

Por meio das análises das microestruturas obtidas, foi possível avaliar a eficiência dos reativos propostos, levando-se em consideração, principalmente, a nitidez das fotomicrografias obtidas em microscópio óptico, também considerando o tempo de ataque necessário e ocorrência de pites de corrosão na superfície das amostras quimicamente atacadas.

Para todos os aços estudados, houve uma condição ótima capaz de possibilitar uma revelação satisfatória dos contornos de grãos austeníticos prévios, apresentando-se em estado ideal para eventuais estudos de metalografia quantitativa ou estudos da relação estrutura-propriedades relativas ao tamanho de grão austenítico dos aços.

As concentrações ideais de ácido clorídrico para a revelação de contornos de grãos austeníticos prévios convergiram para valores de 1,0ml e 1,5ml adicionados na solução do reativo à base de ácido pícrico, não dependendo, portanto, do carbono equivalente dos aços estudados.

Em vista desta tendência nos valores ideais de HCl, uma sugestão para trabalhos futuros seria adotar um intervalo de concentrações entre 1,0ml e 1,5ml de ácido clorídrico – que foram as melhores condições obtidas neste trabalho – para assim, reavaliar se há correlação entre o carbono equivalente e a concentração de HCl adequada no reativo, para o intervalo proposto.

#### Agradecimentos

À Fundação Gorceix pelo auxílio em forma de bolsa de iniciação científica. Ao CNPq pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa de um dos autores.

## REFERÊNCIAS

- 1 Colpaert, H. Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns. 4. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgar Blucher; 2008.
- 2 Zhang L, Guo DC. A general etchant for revealing prior-austenite grain boundaries in steels. *MaterialsCharacterization*. 1993;30(4):299-302.
- 3 García de Andrés C, Bartolomé MJ, Capdevila C, San Martín D, Caballero FG, López V. Metallographic techniques for the determination of the austenite grain size in médium-carbon microalloyed steels. *MaterialsCharacterization*. 2001;46:389-398.
- 4 García de Andrés C, Caballero FG, Capdevila C, San Martín D. Revealing austenite grain boundaries by thermal etching: advantages and disadvantages. *MaterialsCharacterization*. 2003; 49:121-127.
- 5 Moreira OS, Cardoso RA, Faria GL. Avaliação de um método de contraste por oxidação para revelação do grão austenítico prévio nos aços ABNT 4340 e ABNT 1030. *ABM Week*. 2016; v.71.
- 6 Moreira PS, Faria GL, Fortes RC, Rodrigues RA. Avaliação de diferentes técnicas de contraste para revelar o contorno de grão austenítico prévio em aços. *ABM Week*. 2015; v.70.
- 7 Ferdian D, AriatiM, Norman A. Method for detecting austenite grains in low-carbon steel after hot deformation. *Metal Science andHeatTreatment*. 2013; 55(5-6):54-58.
- 8 Brewer AW, Erven KA, Krauss G. Etching and image analysis of prior austenite grain boundaries in hardened steels. *MaterialsCharacterization*. 1991; 27:53-56.
- 9 Ozaki H, Naiman J, Masubuchi K. A study of hydrogen cracking in underwater steel welds. *WeldingJournal*.1977; 8:231.