



ANÁLISE METALOGRÁFICA QUANTITATIVA DO AÇO SAE 1045 UTILIZANDO O SOFTWARE IMAGEJ E O ORIGIN

Aurilene Braga Ribeiro – aurilenesd@gmail.com

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e processos industriais - Instituto Federal do Piauí

Naiara de Oliveira Sobrinho - naiara20oliveira@gmail.com

Programa de Pós- Graduação em Ciências e Engenharia de Materiais – Universidade Federal do Piauí

Sandra Maria Borges Costa Alves - sandra.engenheira2015@gmail.com

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Processos industriais - Instituto Federal do Piauí

Laila Raila Leal Dias- lailaleal27@gmail.com

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Processos industriais - Instituto Federal do Piauí

Lucileide Aquino do Nascimento – lucileideaquino1980gmail.com

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Processos industriais– Instituto Federal do Piauí

Ênio Vieira Alves da Silva- Alves.enios@hotmail.com

Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais e Processos industriais– Instituto Federal do Piauí

Resumo — A metalografia constitui uma ferramenta essencial para a caracterização dos metais, permitindo correlacionar microestrutura e propriedades mecânicas. Entre os aços de maior relevância destaca-se o SAE 1045, classificado como médio carbono, cuja composição de aproximadamente 0,45% de carbono garante boa resistência, tenacidade e ampla aplicação em componentes estruturais. Este estudo teve como objetivo caracterizar a microestrutura do aço SAE 1045 por meio de técnicas metalográficas, utilizando os softwares ImageJ e Origin para análise quantitativa. A pesquisa foi conduzida como um estudo experimental e descritivo, no qual o corpo de prova passou por preparação metalográfica envolvendo lixamento progressivo, polimento mecânico e ataque químico com solução de Nital, sendo posteriormente analisado em microscópio óptico. As imagens obtidas foram processadas no ImageJ para calibração de escala, mensuração do tamanho de grão e quantificação das fases constituintes, e os dados organizados no Origin para interpretação estatística e construção de gráficos. Os resultados evidenciaram a presença de ferrita e perlita como fases predominantes, típicas de aços médio carbono, responsáveis por conferir equilíbrio entre ductilidade, resistência e dureza. O histograma gerado indicou que a distribuição dos grãos variou entre 20 e 140 μm , com maior concentração entre 40 e 80 μm , evidenciando uma microestrutura relativamente homogênea. Conclui-se que a integração entre técnicas metalográficas tradicionais e softwares de análise contribuiu para maior precisão e reprodutibilidade das medições, além de reforçar o potencial do aço SAE 1045 em aplicações de alto desempenho e abrir perspectivas para estudos complementares envolvendo tratamentos térmicos e correlação entre microestrutura e propriedades mecânicas.

Palavras-chave— Aço SAE 1045; Metalografia; Origin; ImageJ.

Abstract — Metallography is an essential tool for the characterization of metals, allowing the correlation between microstructure and mechanical properties. Among the most relevant steels, SAE 1045 stands out as a medium-carbon steel, with approximately 0.45% carbon, which ensures good strength, toughness, and wide application in structural components. This study aimed to characterize the microstructure of SAE 1045 steel through metallographic techniques, using ImageJ and Origin software for quantitative analysis. The research was conducted as an experimental and descriptive study, in which the specimen underwent metallographic preparation involving progressive grinding, mechanical polishing, and chemical etching with a Nital solution, followed by optical microscopy analysis. The images obtained were processed in ImageJ for scale calibration, grain size measurement, and phase quantification, and the data were organized in Origin for statistical interpretation and graph construction. The results revealed the presence of ferrite and pearlite as the predominant phases, typical of medium-carbon steels, responsible for providing a balance between ductility, strength, and hardness. The histogram indicated that the grain size distribution ranged from 20 to 140 μm , with the highest concentration between 40 and 80 μm , evidencing a relatively homogeneous microstructure. It is concluded that the integration of traditional metallographic techniques with digital analysis tools contributed to greater accuracy and reproducibility of the measurements, while reinforcing the potential of SAE 1045 steel for high-performance applications and opening perspectives for complementary studies involving heat treatments and the correlation between microstructure and mechanical properties.

Keywords — SAE 1045 Steel 1045; Metallography; Origin; ImageJ.

1 INTRODUÇÃO

A metalografia destaca-se como a ciência dedicada ao estudo da composição, das propriedades e da estrutura dos metais, constituindo uma ferramenta essencial para a caracterização dos materiais metálicos, uma vez que possibilita correlacionar as microestruturas observadas com o desempenho mecânico e as condições de aplicação dos componentes (AKCA; TRGO, 2015).

O aço, por sua vez, assume papel de destaque por ser um dos materiais mais utilizados no Brasil e no mundo, com aplicações que variam desde utensílios domésticos até grandes estruturas, como edifícios, automóveis e aeronaves. Segundo Jocas *et al.* (2024), as propriedades mecânicas dos metais estão intimamente relacionadas à microestrutura, a qual é fortemente influenciada pelos tratamentos térmicos aplicados. Considerando-se a diversidade de classes existentes, cada qual com composições químicas, propriedades e microestruturas distintas, a análise metalográfica torna-se fundamental para orientar a aplicação adequada do material, garantindo qualidade e segurança ao produto final.

A norma SAE, desenvolvida pela Society of Automotive Engineers (SAE), estabelece a classificação dos aços com base em sua composição química. Dentro desse sistema, destaca-se o aço SAE 1045, classificado como um aço médio-carbono, que apresenta aproximadamente 0,45% de carbono em sua composição (SAE INTERNATIONAL, 2014). Este material apresenta boa resistência mecânica, tenacidade e facilidade de usinagem, características que o tornam amplamente empregado na fabricação de eixos, engrenagens, pinos, virabrequins e componentes estruturais que exigem desempenho confiável em condições de carga. No que se refere à classificação, o sistema SAE/AISI estabelece critérios de identificação baseados na composição química. Segundo essa nomenclatura, o aço SAE 1045 é classificado como aço carbono médio, em que o número “10” indica tratar-se de um aço carbono simples, enquanto o número “45” representa o teor aproximado de carbono presente, cerca de 0,45% (SAE J403, SAE INTERNATIONAL, 2014).

O presente estudo tem como objetivo caracterizar o aço SAE 1045 por meio de técnicas metalográficas, buscando analisar o tamanho médio dos grãos e identificar a microestrutura presente no material. Para tal, foram utilizados os softwares ImageJ e Origin como ferramentas de apoio na quantificação e interpretação dos dados obtidos demonstrando a importância do desenvolvimento de software para a pesquisa científica

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 AÇO SAE 1045

Segundo a norma SAE J403 (2014), em razão das múltiplas aplicações do aço e das diferentes exigências de resistência mecânica, tornou-se necessário estabelecer critérios padronizados, com finalidade de garantir previsibilidade em seu desempenho mecânico e adequação às diferentes aplicações industriais. Nesse contexto, a referida norma classifica os aços carbono com base na sua composição, uma vez que esta apresenta relação direta com as propriedades mecânicas do material.

No caso específico do aço SAE 1045, a norma estabelece um teor de carbono entre 0,43% e 0,50%, o que contribui de forma significativa para a sua resistência mecânica. Além do carbono, este aço contém outros elementos de liga, tais como manganês, fósforo, enxofre, silício, níquel, cromo e molibdênio, que desempenham papéis importantes nas suas propriedades físico-químicas, microestruturalmente, o aço SAE 1045 é constituído predominantemente por ferrita e perlita, fases que conferem uma combinação equilibrada de resistência e ductilidade (WENISH *et al.*, 2022).

2.2 METALOGRAFIA

A análise de elementos estruturais e de defeitos presentes em materiais, por vezes, torna-se necessária para compreender de que forma essas características influenciam suas propriedades. A realização desse tipo de exame é essencial, pois permite correlacionar adequadamente estrutura e propriedades, além de possibilitar a previsão do desempenho do material em diferentes aplicações. Nos aços os grãos constituintes encontram-se em escala microscópica, exigindo técnicas específicas de observação. Esse estudo microestrutural de metais e ligas é denominado metalografia ou ensaio metalográfico (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

2.3 IMAGEJ

O ImageJ é um software amplamente utilizado para a análise e processamento de imagens digitais, destacando-se pela sua versatilidade. O programa disponibiliza uma ampla gama de ferramentas que permitem desde operações simples, como ajustes de brilho e contraste, até procedimentos mais complexos, como medições morfométricas, segmentação de estruturas e aplicação de filtros específicos. Além disso, o ImageJ é personalizável, permitindo que pesquisadores adaptem o software às necessidades específicas de cada estudo (Rueden *et al.*, 2017).

A sua aplicação tem contribuído de forma significativa para o avanço de estudos científicos em diversas áreas do conhecimento, incluindo biomedicina, engenharia, física, ciências ambientais e ciências dos materiais, uma vez que possibilita a extração de informações quantitativas e qualitativas de imagens com elevada precisão. Assim, o ImageJ não apenas facilita a visualização e interpretação de dados, mas também promove maior rigor e reprodutibilidade nas análises científicas, constituindo-se como uma ferramenta importante para a pesquisa moderna (SCHROEDER *et al.*, 2021).

2.4 ORIGIN

Segundo Mandelis (2023), o Origin é um software utilizado para a análise e tratamento de dados científicos, oferecendo uma variedade de recursos que permitem confeccionar, formatar e plotar gráficos com elevado nível de precisão e qualidade visual. Trata-se de uma ferramenta que além da construção de gráficos bidimensionais e tridimensionais, possibilita também a aplicação de métodos estatísticos, ajustes de curvas, ajuste de equações e organização estruturada de conjuntos de dados.

Dessa forma, o Origin não apenas auxilia na visualização e interpretação dos dados, mas também contribui para a padronização e confiabilidade das análises em múltiplas áreas do conhecimento, incluindo ciências exatas, engenharias, biociências e ciências sociais aplicadas. Assim, o software tornou-se um recurso importante para o desenvolvimento de pesquisas científicas rigorosas e de alto impacto (MANDELIS, 2023).



3 METODOLOGIA

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa experimental e descritiva de abordagem quantitativa, voltada à caracterização microestrutural do aço SAE 1045. A investigação foi conduzida por meio da preparação metalográfica da amostra, seguida da captura de imagens em microscopia óptica e posterior análise quantitativa utilizando os softwares ImageJ e Origin.

Foram empregados insumos e equipamentos específicos para a preparação metalográfica, incluindo lixas de granulometria 220, 280, 320, 400, 600 e 1200; politriz com disco de feltro; pasta de diamante; solução de ataque químico à base de Nital; além de EPIs para garantir a segurança do procedimento. A amostra analisada correspondeu a um corpo de prova de aço SAE 1045, observada em microscópio óptico da marca Olympus CX31.

O procedimento metodológico seguiu etapas sequenciais: (1) lixamento manual, realizado com lixas de granulometria progressiva e alternância da posição da amostra em 90° a cada troca de lixa, a fim de eliminar ranhuras e homogeneizar a superfície; (2) polimento mecânico, efetuado em politriz com pasta de diamante, visando o refinamento da superfície e a redução de imperfeições; (3) ataque químico, realizado com solução de Nital aplicada por meio de algodão embebido, permitindo a revelação dos contornos de grão; e (4) microscopia óptica, etapa em que foram capturadas micrografias representativas da superfície do material.

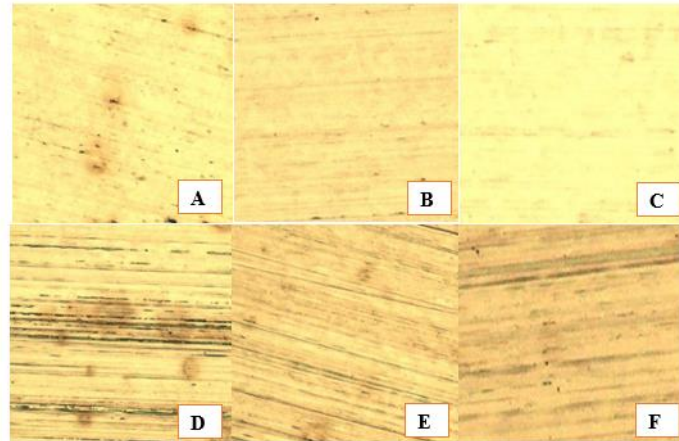
As imagens obtidas foram processadas no ImageJ, software utilizado para mensuração do tamanho de grão e quantificação de fases, de forma a reduzir a subjetividade das análises visuais tradicionais. Posteriormente, os resultados foram organizados e tratados estatisticamente no Origin, possibilitando a construção de gráficos e a interpretação quantitativa dos dados. Esse conjunto metodológico visou garantir maior precisão e reprodutibilidade na caracterização metalográfica do aço SAE 1045.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DA MICROESTRUTURA

A preparação metalográfica das amostras iniciou-se com o lixamento progressivo, utilizando lixas de diferentes granulometrias. As Figuras 1, apresentam as micrografias obtidas após o lixamento com as lixas N° 220, 280 e 320, 400, 600 e 1200 respectivamente, ilustrando a sequência do processo de preparação superficial. As imagens obtidas foram processadas no ImageJ, software utilizado para mensuração do tamanho de grão e quantificação de fases,

Figura 1: Micrografias da amostra após o lixamento com lixas de diferentes granulometrias: (A) Nº 220; (B) Nº 280; (C) Nº 320; (D) Nº 400; (E) Nº 600; (F) Nº 1200.

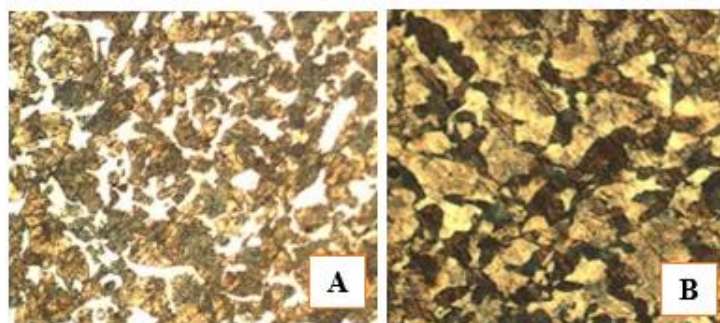


Fonte: Autores (2025).

Na Figura 1 observa-se que, após o lixamento com a lixa de granulação Nº 220 na (figura 1A) a superfície da amostra ainda apresentava ranhuras profundas resultantes do processo inicial de desgaste. À medida que se aumentou a granulometria das lixas (Figuras 1B, 1C, 1D, 1E e 1F), a superfície tornou-se progressivamente mais uniforme, reduzindo as imperfeições e preparando o material de forma adequada para a etapa subsequente de polimento.

Após o processo de lixamento, a amostra foi submetida ao ataque químico com solução de Nital. Esse procedimento permitiu evidenciar a microestrutura do material, destacando os grãos presentes na região da borda direita (Figura 2A) e da borda esquerda (Figura 2B).

Figura 2: Microestrutura da amostra após ataque químico com Nital: (A) região da borda direita; (B) região da borda esquerda.

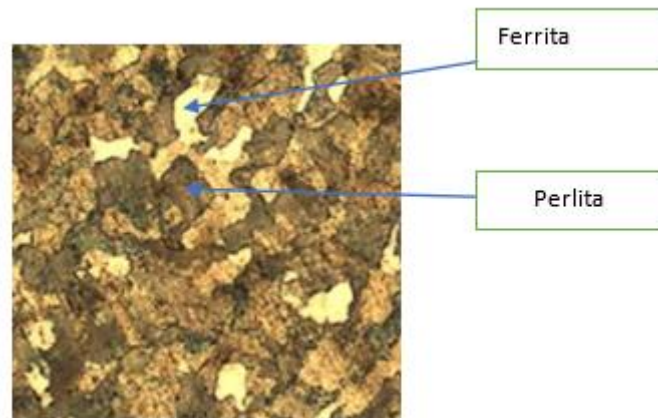


Fonte: Autores (2025).

Nas Figuras 2A e 2B, que correspondem às regiões da borda direita e esquerda da amostra, respectivamente, é possível observar a presença de grãos bem definidos, evidenciando a eficiência do reagente na distinção das fases constituintes. A uniformidade visual obtida em ambas as regiões demonstra a eficácia do preparo metalográfico, permitindo análises posteriores sobre tamanho, forma e distribuição dos grãos, aspectos fundamentais para a correlação entre microestrutura e propriedades mecânicas do material.

A análise microestrutural evidenciou a presença de perlita e ferrita na amostra, características que se tornaram nítidas após o ataque químico. Essas fases podem ser observadas com maior clareza na Figura 3, que ilustra a morfologia resultante.

Figura 3: Microestrutura da amostra após o ataque químico com Nital: região central.



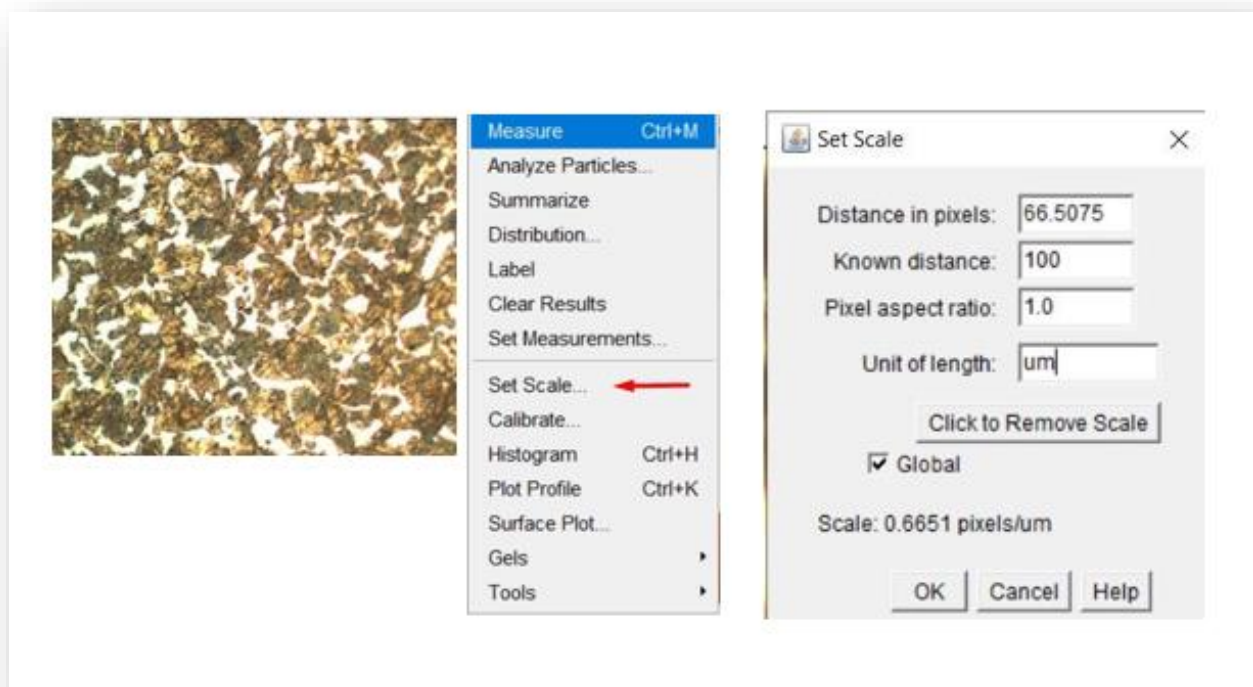
Fonte: Autores (2025).

A microestrutura obtida após o ataque químico com Nital, ilustrada na Figura 3, evidencia a presença de ferrita (regiões mais claras) e perlita (regiões mais escuras) distribuídas de forma característica ao longo da amostra, em conformidade com os resultados reportados por Jocas *et al.* (2024). Essa configuração é típica de aços médio-carbono, como o SAE 1045, nos quais a ferrita contribui para a ductilidade e tenacidade do material, enquanto a perlita é responsável pelo aumento da resistência mecânica e da dureza, estabelecendo assim um equilíbrio entre propriedades de conformabilidade e desempenho estrutural.

A distribuição relativamente homogênea dessas fases indica que o preparo metalográfico foi eficiente, possibilitando a distinção clara dos constituintes e fornecendo subsídios para a análise quantitativa por meio de softwares de processamento de imagem, como o ImageJ, que permite relacionar a fração volumétrica das fases às propriedades mecânicas do material.

Após o ataque químico a imagens de grãos foram trabalhadas no Software IMAGE J, que é um programa destinado ao processamento de imagens. Ao iniciar o IMAGE J carregou-se a imagem (figura 10), selecionada de grãos e realizou o ajuste da escala conforme demonstrado na figura 4.

Figura 4: Procedimento de calibração da escala no software ImageJ, relacionando pixels e micrômetros (μm).

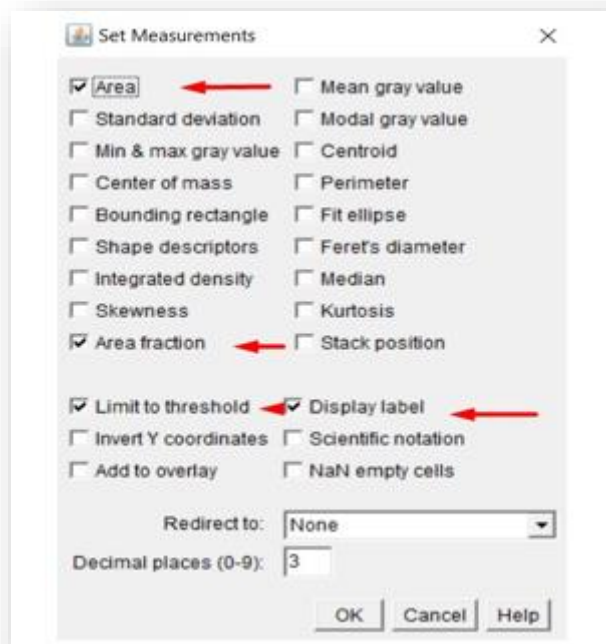


Fonte: Autores, (2025).

Em sequência, realizou-se a calibração da micrografia no software ImageJ, por meio do comando Set Scale, conforme ilustrado na Figura 4. Nessa etapa, foi definida a relação entre a distância em pixels e a distância real em micrômetros (μm), estabelecendo a escala global de análise. Esse procedimento foi fundamental para garantir a confiabilidade das medições posteriores e permitir a quantificação precisa das fases constituintes presentes na microestrutura.

Após a calibração da escala, procedeu-se à configuração dos parâmetros de medição no software ImageJ, por meio do comando Set Measurements. Nessa etapa, foram selecionadas as opções Area, Area fraction, Limit to threshold e Display label, conforme ilustrado na Figura 5. Essa configuração possibilitou a obtenção de dados quantitativos referentes às fases constituintes, assegurando maior precisão na análise microestrutural.

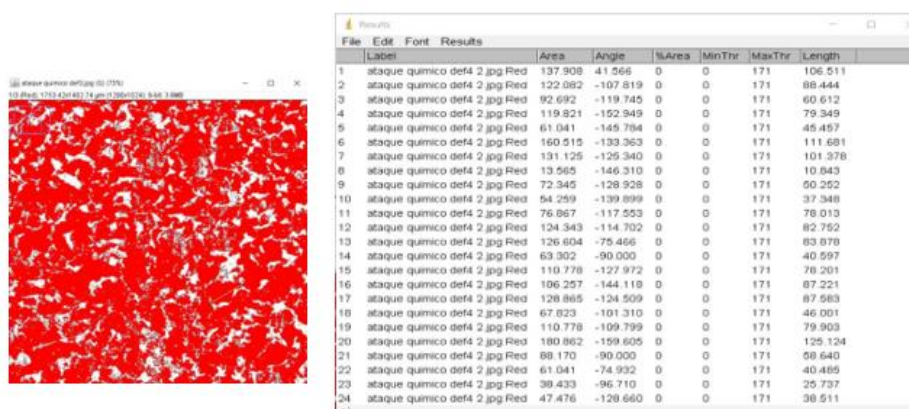
Figura 5: Configuração dos parâmetros de medição no software ImageJ (Set Measurements).



Fonte: Autores, (2025).

Com a aplicação da função Adjust Threshold, a micrografia passou a apresentar coloração em vermelho, destacando as áreas segmentadas. Na sequência, foi realizada a contagem das partículas, com a obtenção dos respectivos valores de área e parâmetros geométricos. Esses resultados estão reunidos na Figura 6.

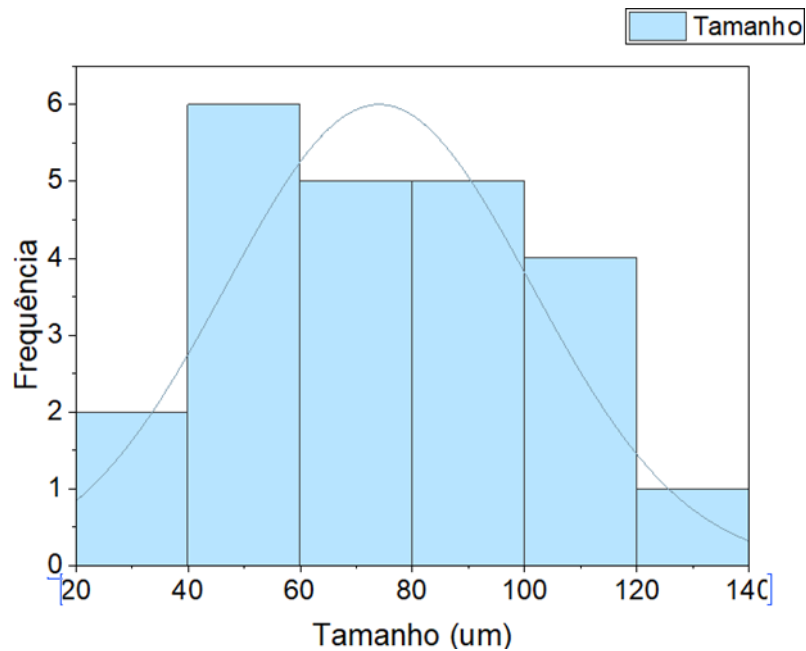
Figura 6: Aplicação da função Adjust Threshold no software ImageJ, evidenciando as partículas em vermelho e os resultados obtidos pela contagem automatizada.



Fonte: Autores, (2025).

Os dados obtidos foram exportados para o software Origin, utilizado na interpretação e na elaboração do gráfico de distribuição de grãos.

Figura 7: Distribuição do tamanho de grãos obtida por análise de imagem.



Fonte: Autores, (2025).

O histograma da Figura 7, apresenta a distribuição do tamanho dos grãos, variando entre 20 e 140 μm . Observa-se que a maior concentração encontra-se na faixa de 40 a 80 μm , com frequências entre cinco e seis ocorrências, caracterizando o intervalo mais representativo da amostra. Já nas extremidades, entre 20–40 μm e acima de 120 μm , a frequência é reduzida, indicando menor ocorrência de grãos muito finos ou muito grossos. A curva ajustada sugere uma tendência de distribuição aproximadamente normal, com média concentrada em torno de 60–80 μm . Esses resultados evidenciam uma microestrutura relativamente homogênea, em que a predominância de grãos médios tende a favorecer um equilíbrio entre resistência mecânica e tenacidade, aspectos relevantes para a correlação entre microestrutura e propriedades do material.

3 CONCLUSÃO

O estudo evidenciou a relevância da caracterização microestrutural do aço SAE 1045, destacando a presença de ferrita e perlita como fases predominantes, associadas ao equilíbrio entre resistência mecânica e ductilidade. A aplicação dos softwares ImageJ e Origin mostrou-se eficaz no tratamento e análise quantitativa dos dados, proporcionando maior precisão e reprodutibilidade às medições. Esses resultados reforçam a importância da integração entre técnicas metalográficas tradicionais e ferramentas digitais de processamento e interpretação, contribuindo para a compreensão das propriedades do material e ampliando as perspectivas de sua aplicação em componentes de alto desempenho. Além disso, os resultados abrem possibilidades para estudos complementares envolvendo tratamentos térmicos e correlação quantitativa entre microestrutura e desempenho mecânico.



REFERENCES

- AKCA, Enes; TRGO, Erwin. Metallographic Procedures and Analysis – A review. **Periodicals Of Engineering And Natural Sciences (Pen)**, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 9-11, 25 ago. 2015. International University of Sarajevo. <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v3i2.51>.
- CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016. Tradução de: **Materials Science and Engineering: An Introduction. Tradução de Sergio Murilo Stamile Soares**. ISBN 978-85-216-3103-3.
- JOCAS, Samuel Neves et al. AVALIAÇÃO DAS TRANSFORMAÇÕES MICROESTRUTURAIS E PROPRIEDADES ELETROMAGNÉTICAS DO AÇO AISI/SAE 1045 TRATADO TERMICAMENTE: estudo baseado na técnica de correntes parasitas. **Revista Foco**, [S.L.], v. 17, n. 12, p. 6580, 3 dez. 2024. Brazilian Journals. <http://dx.doi.org/10.54751/revistafoco.v17n12-017>.
- MANDELIS, Andreas. Focus on software, data acquisition, and instrumentation. **Physics Today**, [S.L.], v. 76, n. 4, p. 54-57, 1 abr. 2023. AIP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1063/pt.3.5222>.
- Rueden, CT, Schindelin, J., Hiner, MC et al. ImageJ2: ImageJ para a próxima geração de dados de imagens científicas. **BMC Bioinformatics** 18 , 529 (2017). <https://doi.org/10.1186/s12859-017-1934-z>
- SCHROEDER, A. B.; DOBSON, E. T. A.; RUEDEN, C. T.; TOMANCAK, P.; JUG, F.; ELICEIRI, K. W. The ImageJ ecosystem: Open-source software for image visualization, processing, and analysis. **Protein Science**, v. 30, n. 1, p. 234-249, jan. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/pro.3993>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33166005/>. Acesso em: 26 ago. 202
- SCHROEDER, Alexandra B.; DOBSON, Ellen T. A.; RUEDEN, Curtis T.; TOMANČÁK, Pavel; JUG, Florian; ELICEIRI, Kevin W. The ImageJ ecosystem: Open-source software for image visualization, processing, and analysis. **Protein Science**, v. 30, n. 1, p. 234-249, jan. 2021. DOI: 10.1002/pro.3993
- SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEERS. SAE J403: **Chemical Compositions of SAE Carbon Steels**. Warrendale, PA: SAE International, 2014.
- WENISH, G. D.; PRINCE, M.; MANIRAJ, J. Characterization of induction hardened and tempered AISI 1045 steel. **Matéria** (Rio de Janeiro), v. 27, n. 4, p. e20220170, 2022. DOI: 10.1590/1517-7076-rmat-2022-0170