



# CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM AÇO COMUM COM BAIXO TEOR DE CARBONO

## RESUMO

O presente artigo tem como objetivo caracterizar uma liga de aço empregada na fabricação de componentes para a indústria naval. Trata-se de uma pesquisa qualitativa, através de realização de uma revisão bibliográfica sobre o tema, assim como ensaios e análises a partir de amostras extraídas de um lingote aço de características desconhecidas. As amostras foram preparadas e submetidas à análise química, caracterização microestrutural e ensaios de tração com o emprego de técnicas e equipamentos adequados. A caracterização estrutural revelou se tratar de um aço ferrítico/perlítico, com elevada predominância de ferrita. Os ensaios mecânicos apontaram para um conjunto satisfatório de propriedades mecânicas. Os dados mostram resistência à tração ( $\sigma_R$ ) de 461,20 MPa, alongamento ( $\epsilon$ ) de 35,30 %, tensão de escoamento ( $\sigma_{esc}$ ) de 242,84 MPa, e módulo de elasticidade (E) de 240,00 GPa. A análise química apontou a presença dos elementos C (0,125 %p), Si (0,159 %p), Mn (0,732 %p), P (0,011 %p) e S (0,019 %p). A análise do conjunto de resultados obtidos mostrou que a aplicação adequada dos métodos de caracterização da liga permitiu determinar suas características químico-composicionais, microestruturais e de propriedades mecânicas, que demonstraram a correlação existente entre processamento, estrutura e propriedades do aço analisado, permitindo concluir se tratar de uma liga de aço-C de baixo teor de carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

**Palavras-chave:** Microestrutura e propriedades. Caracterização estrutural. Análise química do aço.

## INTRODUÇÃO

Os aços são ligas metálicas à base de ferro-carbono largamente produzidas no mundo todo. Esse material possui uma vasta gama de propriedades mecânicas, que associadas a fatores, como o baixo custo de produção, motivam o seu emprego nos mais diversos projetos de

COUTO, Duileu Edemilson.  
Graduação em Construção Naval  
(UNIVALI). Acadêmico do Curso  
de Engenharia de Produção  
(SINERGIA).  
duileu@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/9185701963819458>

LOURENÇO, Adriano José.  
Acadêmico do Curso de  
Engenharia de Produção  
(SINERGIA).  
adrianojoselourenco@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/6985461835150225>

COSTA, Kelvin Guilherme.  
Acadêmico do Curso de  
Engenharia de Produção  
(SINERGIA).  
keld1111@hotmail.com

VIDAL, Douglas Ferreira.  
Doutorado em Engenharia e  
Ciência dos Materiais (UENF);  
Mestrado em Engenharia e  
Ciência dos Materiais (UENF);  
Pós-Graduação em nível de  
Especialização em Engenharia  
de Segurança do Trabalho  
(UCAM); Graduação em  
Engenharia de Produção  
(UNIVERSO). Professor  
(SINERGIA). Coautor.  
vidaltst@hotmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/1582450655625961>

COUTO, Duileu Edemilson et al.  
Caracterização estrutural e propriedades  
mecânicas de um aço comum com baixo  
teor de carbono. **REFS – Revista  
Eletrônica da Faculdade Sinergia**,  
Navegantes, v.10, n.16, p. 16-23, jul./dez.  
2019.

engenharia. Seu conjunto de propriedades mecânicas está intimamente ligado às suas características estruturais, sendo essas totalmente dependentes dos parâmetros de fabricação das ligas, tais como a composição química, as taxas de resfriamento e o emprego de tratamentos térmicos e mecânicos.

Dentre os diferentes tipos de aço, destacam-se os aços-C de baixo teor de carbono, também conhecidos como aços para conformação mecânica. Esses aços constituem uma parcela significativa da produção mundial de metais, e são destinados a produtos planos (folhas, tiras e chapas) mecanicamente conformados para a posterior aplicação como painéis de carrocerias de automóveis, embalagens para alimentos, componentes para indústria da construção civil e construção naval, entre outras (SILVA; MEI, 2010).

Os aços-C são obtidos por via líquida, sendo elaborados no estado de fusão, e além do carbono apresentam em sua composição concentrações residuais de manganês, silício, fósforo e enxofre. Sua microestrutura típica é formada pelos constituintes estruturais ferrita e perlita. Aços-C com baixo teor de C, em estado bruto de fundição apresentam predominantemente estrutura ferrítica (CALLISTER, 2008; COLPAERT, 2008).

A caracterização estrutural e das propriedades mecânicas dos aços se configuram como importante instrumento de controle da qualidade da fabricação deste material, possibilitando maior segurança em sua seleção, e atendimento das condições de desempenho esperadas, por meio do estabelecimento da correlação entre os fatores processamento, estrutura e propriedades da liga (CALLISTER, 2008; COLPAERT, 2008; SILVA; MEI, 2010).

Com o objetivo de caracterizar uma liga de aço empregada na fabricação de componentes para a indústria naval, elencou-se como objetivos específicos: a) obter informações sobre o comportamento mecânico da liga estudada por meio de valores indicativos da resistência à tração, tensão de escoamento, ductilidade e módulo de elasticidade; b)

determinar a composição química; c) realizar a caracterização estrutural por meio de análise metalográfica qualitativa.

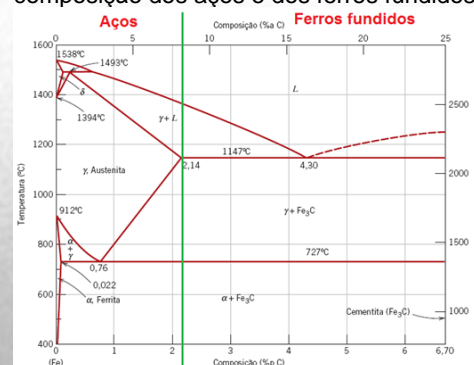
Assim, o presente artigo foi desenvolvido através de pesquisa qualitativa e quantitativa, com revisão bibliográfica sobre o tema, com base em autores como: Callister (2008), Silva e Mei (2010), entre outros, assim como ensaios e análises a partir de amostras extraídas de um lingote aço de características desconhecidas, possíveis graças ao apoio das empresas Keppel Singmarine que fez a doação do material estudado, grupo GMEG que oportunizou a usinagem dos corpos de prova e a Acearia Frederico Missner que permitiu a realização dos ensaios de tração e análise química.

A análise do conjunto de resultados obtidos mostrou que a aplicação adequada dos métodos de caracterização da liga permitiu determinar suas características químico-composicionais, microestruturais e de propriedades mecânicas, que demonstraram a correlação existente entre processamento, estrutura e propriedades do aço analisado, permitindo concluir se tratar de uma a liga de aço-C de baixo teor de carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

## 1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Denomina-se aço-C, a liga ferro-carbono contendo, geralmente, de 0,008%p até aproximadamente 2,11%p de carbono (Figura 1), além de certos elementos residuais (Mn, P, S e Si), resultantes do processo de fabricação (CHIAVERINI, 2008).

Figura 1 - Diagrama Fe-C e identificação da faixa de composição dos aços e dos ferros fundidos

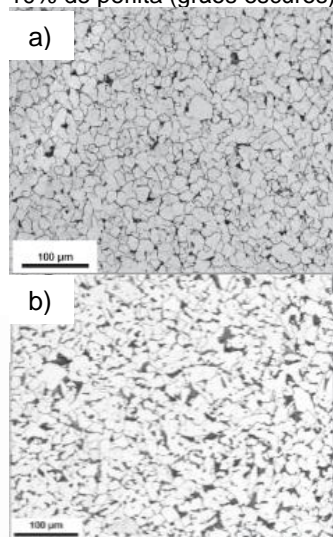


Fonte: Callister (2008).

As propriedades mecânicas dos aços são influenciadas, entre outros fatores, pela concentração de C na liga, que comumente não ultrapassa 1,0 %p. Aços que contêm menos de 0,25 %p C são classificados como aços de baixo teor de carbono (CALLISTER, 2008).

Esses aços apresentam estrutura ferrítica/perlítica, com predominância de grãos de ferrita (Figura 2). Do ponto de vista das propriedades mecânicas, os aços-C de baixo teor de carbono se caracterizam por apresentar, baixa dureza, resistência à tração que varia em uma faixa de 325 a 485 MPa, aliada à tensão de escoamento entre 180 e 260 MPa, e ductilidade entre 28% e 21% (Tabela 1). Essas ligas são tipicamente empregadas na fabricação de pregos, painéis automotivos, tubos, aços estruturais, chapas e vasos de pressão (CALLISTER, 2008).

Figura 2 - Microestrutura de aços comuns de baixo teor de carbono atacadas com nital 2%: a) um aço AISI 1005 normalizado, com estrutura de 95% ferrita (grãos claros) e 5% perlita (grãos escuros) b) um aço AISI 1010 normalizado, com estrutura de 90 % ferrita (grãos claros) e 10% de perlita (grãos escuros).



Fonte: Colpaert (2008).

Tabela 1 - Características mecânicas e aplicações típicas de aços-carbono comuns com baixo teor de carbono.

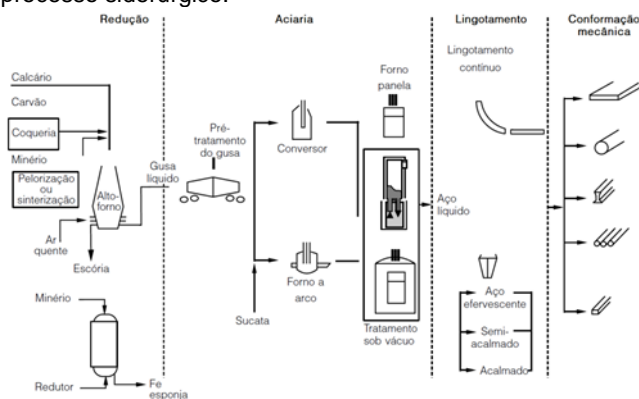
Aços – carbono comuns com baixo teor de carbono				
Liga	Limite de resistência a a tração (MPa)	Limite de escoamento (MPa)	Ductilidade (%)	Aplicações típicas.
1010	325	180	28	Painéis de automóveis, pregos e arames.
1020	380	210	25	Tubos, aço estrutural e em chapas.

A36	400	220	23	Estrutural (pontes e edificações).
A516 Classe 70	485	260	21	Vasos de pressão para baixas temperaturas.

Fonte: Adaptado de Callister (2008).

A fabricação dos aços ocorre pelo emprego de uma sequência de operações de transformação, que compõem o processo siderúrgico, denominadas etapas de redução, refino, lingotamento e conformação (Figura 3).

Figura 3 - Representação esquemática das etapas do processo siderúrgico.



Fonte: Silva e Mei (2010).

A operação de redução mais comum resulta na fabricação de ferro gusa, em alto forno. O alto forno é carregado com minério de ferro, coque e fundente. A mistura é aquecida e atinge temperaturas superiores a 1400 °C. Ocorre, então, uma sequência de reações termoquímicas, que resultam na produção do ferro gusa líquido, com aproximadamente 4,3%p de C em sua composição (SILVA; MEI, 2010).

Na etapa de refino, o objetivo é transformar o ferro gusa em aço através da oxidação do banho metálico. Essa etapa é executada na aciaria, com o emprego de um equipamento conversor. O conversor é carregado com ferro gusa, e na sequência, quantidades controladas de oxigênio são introduzidas no banho. O oxigênio se combina com o C e com outros elementos indesejados, formando óxidos que deixam o sistema na forma de gases, ou passam a integrar a escória. O resultado é a produção do aço líquido, com composição química desejada (Tabela 2), avaliada por controles de qualidade (SILVA; MEI, 2010).

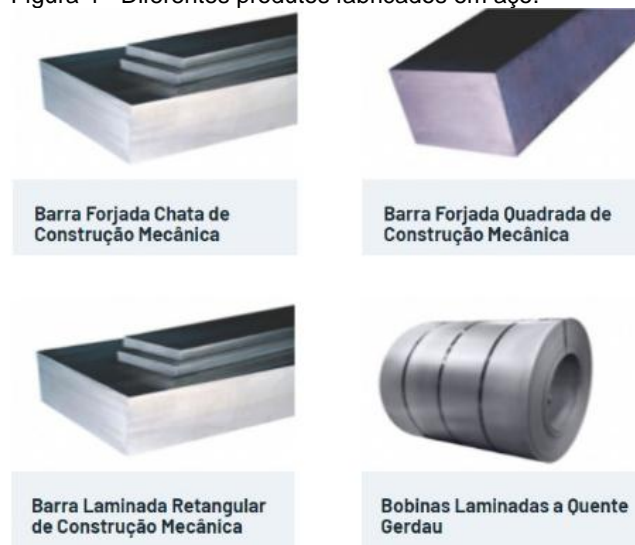
No lingotamento contínuo, o aço líquido é vazado nos distribuidores do lingotamento e solidificado na forma de tarugos, blocos ou placas que, posteriormente, são conformadas mecanicamente por um conjunto de operações, que resultam na produção de barras, vergalhões, trilhos, chapas, tubos, entre outros produtos (Figura 4).

Tabela 2 - Composição química de alguns aços-C e aços de baixa liga.

Liga	Composição química (%p)						
	Fe (min)	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo
A36	98,0	0,29	1,00	0,28	-	-	-
1010	99,1	0,10	0,45				
1020	99,1	0,20	0,45	-	-	-	-
1040	98,6	0,40	0,75	-	-	-	-
4140	96,8	0,40	0,90	-	-	0,90	0,20
4340	95,2	0,40	0,70	-	1,80	0,80	0,25

Fonte: Adaptado de Açovisa (2019); Callister (2008).

Figura 4 - Diferentes produtos fabricados em aço.



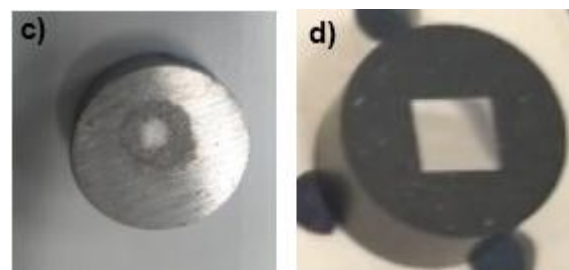
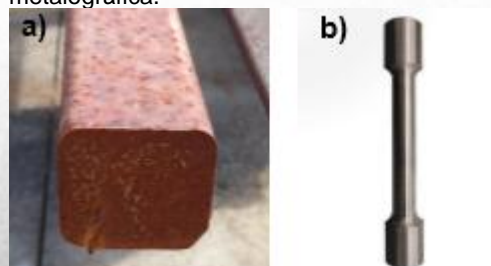
Fonte: Gerdau (2019).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 MATERIAIS

Para a realização deste trabalho utilizou-se um lingote de aço de baixo teor de carbono (Figura 5a), empregado na fabricação de componentes para indústria naval. O material foi obtido junto à empresa Keppel Singmarine Brasil, em seu estaleiro localizado na cidade de Navegantes, SC. O lingote foi seccionado e usinado para a produção de corpo-de-prova submetido a ensaio tração. Outras duas amostras foram retiradas e utilizadas para realização de análises química e metalográfica (Figuras 5b, c e d).

Figura 5 - a) Características do estado bruto do material estudado; b) corpo-de-prova para ensaio de tração, usinado a partir do material bruto; c) amostra empregada na análise química; d) amostra utilizada na análise metalográfica.



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.2 MÉTODOS

#### 2.2.1 Ensaio mecânico de tração

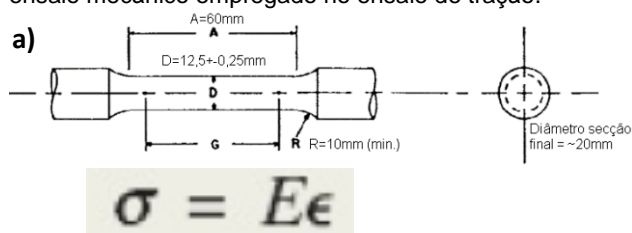
O ensaio mecânico de tração foi realizado com o objetivo de se obter informações sobre o comportamento mecânico da liga estudada. Buscou-se obter valores indicativos da resistência à tração, tensão de escoamento, ductilidade e módulo de elasticidade da amostra.

Utilizou-se corpo-de-prova padronizado (CP), que foi usinado, utilizando equipamento CNC, disponível na empresa GMEG, de acordo com os padrões dimensionais estabelecidos na norma ASTM A370-17 (*Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products*), com secção transversal circular, de

12,5 mm de diâmetro, e comprimento útil de 60 mm.

O ensaio de tração foi realizado com o emprego de equipamento de ensaio universal EMIC GR048, disponível na Aciaria Frederico Missner (Figura 6). Os resultados referentes à resistência à tração e alongamento foram obtidos diretamente da curva tensão x deformação, fornecida no laudo do ensaio. O módulo de elasticidade (E) foi obtido pela aplicação da equação da lei de Hooke, tomando como base, dados de tensão e deformação extraídos da região linear da curva de engenharia.

Figura 6 - a) Esquema de CP para ensaio de tração estabelecido na ASTM A370-17, e equação usada para calcular o módulo de elasticidade (E), e b) equipamento de ensaio mecânico empregado no ensaio de tração.

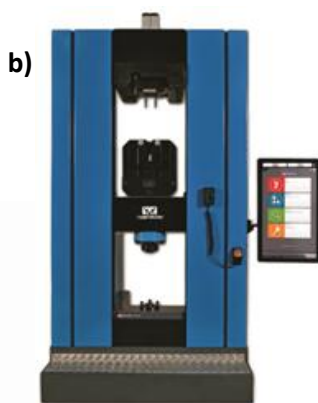


Onde:

$\sigma$  = Tensão (MPa)

E = Módulo de elasticidade (GPa)

$\epsilon$  = Deformação



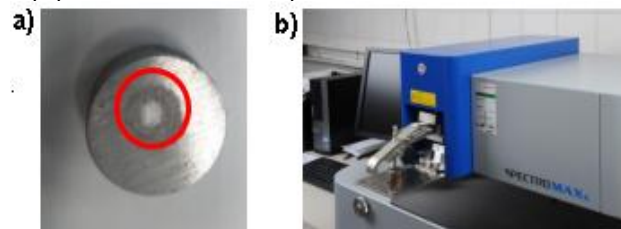
Fonte: ASTM (Figura 6a, adaptado pelos autores); EMIC (2018, figura 6b).

## 2.2.2 Análise química

A análise química feita na Aciaria Frederico Missner, determinou a composição da liga estudada. A análise foi executada com emprego das amostras preparadas e o uso do equipamento espectrômetro SpectroMaxx (Figura 7). O analisador avaliou os dados da composição química da liga por meio da queima

superficial das amostras, apontando automaticamente os resultados em porcentagem de peso para cada elemento identificado.

Figura 7 - a) detalhe da queima superficial da amostra utilizada para a realização da análise química; b) equipamento analisador SpectroMaxx.



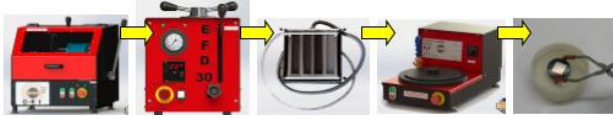
Fonte: Elaborado pelos autores.

## 2.2.3 Preparação e análise metalográfica

A preparação metalográfica foi realizada com o emprego dos recursos disponíveis no Laboratório de Produção da Faculdade Sinergia (SILAPRO), seguindo método clássico de preparação de amostras metálicas. A sequência operacional utilizada envolveu as etapas de corte, embutimento a quente, lixamento, polimento e ataque químico (Figura 8).

A etapa de corte foi realizada com o emprego da cortadora metalográfica CFI – Fortel. Para o embutimento, utilizou-se baquelite e a prensa embutidora metalográfica EFD – Fortel. Após embutida, a amostra foi submetida ao processo de lixamento. O lixamento a úmido foi realizado na lixadeira manual – LMF, utilizando-se uma sequência de lixas de carbeto de silício, com granulometria de 100, 220, 320, 400, 600 e 1000 mesh. Depois de lixada, a amostra foi polida com o emprego sequencial de pastas de alumina de granulometrias de 1  $\mu$ m e 0,5  $\mu$ m, na politriz metalográfica PLF. Ao término do polimento, a amostra foi atacada quimicamente com o uso do reagente nital 3% (97 ml de álcool etílico e 3 ml de ácido nítrico), através da técnica de imersão, com tempo de ataque de aproximadamente 10 segundos, revelando a microestrutura do material, o que possibilitou a realização da análise metalográfica.

Figura 8 - Equipamentos empregados na sequência operacional da preparação metalográfica da amostra analisada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Após preparada, a amostra foi analisada de forma qualitativa através de técnicas de microscopia ótica, com o objetivo de identificar as fases presentes na estrutura da amostra estudada. A análise qualitativa foi realizada com o emprego do microscópio ótico Fortel (Figura 9), e seus recursos de obtenção de fotomicrografias digitais. As micrografias

analisadas foram obtidas sob regime de iluminação de campo claro, com aumentos de 40x, 100x, 200x e 400x.

Figura 9 - Microscópio ótico Fortel e seus recursos de obtenção de imagem utilizados para realização de análise qualitativa da amostra estudada.



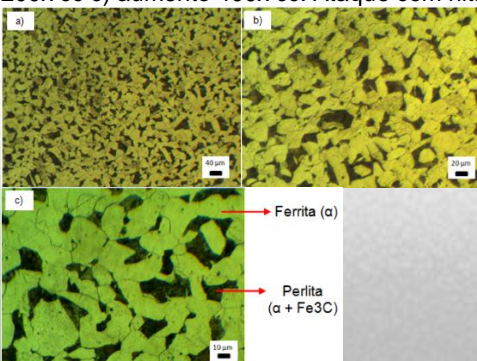
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 ANÁLISE MICROESTRUTURAL QUALITATIVA

A análise microestrutural qualitativa foi realizada com imagens das amostras metalograficamente preparadas e quimicamente atacadas, obtidas em aumentos de 100x, 200x e 400x, em regime de iluminação de campo claro (Figura 10). As micrografias mostram que a liga é composta de grãos equiaxiais dos constituintes ferrita ( $\alpha$ ) e perlita ( $\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$ ), com grande predominância de ferrita (regiões claras) e menor participação da perlita (regiões escuras) distribuídos por toda a amostra. As características estruturais apresentadas são indicativas de que se trata de um aço de baixo teor de carbono.

Figura 10 - Micrografias da liga de aço analisada. Observe a distribuição dos grãos equiaxiais de ferrita (regiões claras) e perlita (regiões escuras) por toda a extensão da amostra. a) aumento 100x, campo claro (cc), b) aumento 200x cc c) aumento 400x cc. Ataque com nital 3%.

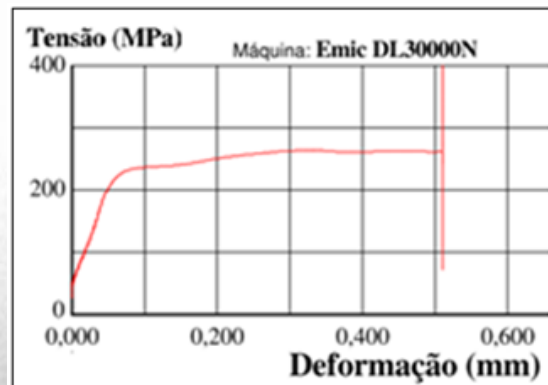


Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 3.2 ANÁLISE MECÂNICA

A curva de engenharia resultante do ensaio mecânico de tração está apresentada na Figura 11. Os dados obtidos no ensaio mostram que a liga apresenta resistência à tração ( $\sigma_R$ ) de 461,20 MPa e alongamento ( $\epsilon$ ) de 35,30 %. A tensão de escoamento ( $\sigma_{esc}$ ) é de 242,84 MPa, e o módulo de elasticidade (E) calculado é de 240,00 GPa (Tabela 3). O conjunto de propriedades apresentado pela liga estudada é bem semelhante às propriedades dos aços de baixo carbono apresentadas por Callister (2008), reforçando a tese de que a liga estudada trata-se de um aço de baixo teor de carbono.

Figura 11 - Curva de engenharia da amostra de aço estudada.



Fonte: Adaptado do relatório de ensaio de tração AFM.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas do aço estudado, obtido através do ensaio de tração.

Propriedades mecânicas			
$\sigma_R$ (MPa)	$\epsilon$ (%)	$\sigma_{esc}$ (MPa)	E (GPa)
461,50	35,30	242,84	240,00

Fonte: Adaptado do relatório de ensaio de tração AFM.

### 3.3 ANÁLISE QUÍMICA

Os resultados da análise química são mostrados na Tabela 4. Os dados apontam a

## CONCLUSÃO

Conclui-se, a partir da análise dos resultados, que a aplicação adequada dos métodos empregados para a caracterização da liga estudada (liga de aço), permitiu determinar suas características químico-composicionais, microestruturais e de propriedades mecânicas, demonstrando a correlação existente entre processamento, estrutura e propriedades do aço analisado. Os resultados mostram que a liga estudada apresenta uma estrutura ferrítica-perlítica, com grande predominância de ferrita. Os grãos se mostram equiaxiais e distribuídos uniformemente ao longo da amostra. A grande predominância de grãos ferríticos indica se tratar

presença dos elementos C (0,125 %p), Si (0,159 %p), Mn (0,732 %p), P (0,011 %p) e S (0,019 %p). O resultado indica que se trata de um aço-C de baixo teor de carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

Tabela 4 - Composição química da liga de aço analisada.

Composição química (%p)				
C	Si	Mn	P	S
0,125	0,159	0,732	0,011	0,019

Fonte: Adaptado do relatório de ensaio químico AFM.

de um aço de baixo teor de C. O ensaio mecânico apontou  $\sigma_R$  de 461,50 MPa,  $\epsilon$  de 35,30%,  $\sigma_{esc}$  igual a 242,84 MPa e E de 240,00 GPa. Trata-se de uma gama de propriedades mecânicas típicas de um aço-C de baixo teor de carbono, que apresenta ainda um bom conjunto de resistência e ductilidade. A análise química mostra a presença dos elementos C (0,125 %p), Si (0,159 %p), Mn (0,732 %p), P (0,011 %p) e S (0,019 %p). A análise sistemática do conjunto de resultados obtidos corrobora com os dados pesquisados na literatura, permitindo afirmar que se trata de um aço de baixo carbono, possivelmente da classe SAE 1010.

## REFERÊNCIAS

AÇOVISA. Aços carbono. Disponível em: <<http://www.acovisa.com.br/aco/acos-carbono/>>. Acesso em: 31 maio 2019.

ASTM. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Corpo-de-prova-de-tracao-de-acordo-com-norma-ASTM-370-26-Teste-de-Impacto\\_fig2\\_278329449](https://www.researchgate.net/figure/Figura-4-Corpo-de-prova-de-tracao-de-acordo-com-norma-ASTM-370-26-Teste-de-Impacto_fig2_278329449)>. Acesso em: 15 jul. 2019.

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais**: uma introdução. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

\_\_\_\_\_; RETHWISCH, D. G. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais**. Tradução Sérgio Murilo Stamile Soares. Rio de Janeiro: LTC, 2014.

CHIAVERINI, V. **Aços e ferros fundidos**. 8. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materias, 2008.

COLPAERT, H. **Metalografia dos produtos siderúrgicos comuns**. 4. ed. rev. ampl. André Luiz V. Costa e Silva. São Paulo: Blücher, 2008.

EMIC. 2018. Disponível em: <<http://www.emic.com.br/>>. Acesso em: 15 jul. 2019.

GERDAU. 2019. Disponível em: <<https://www2.gerdau.com.br/produtos/naval>>. Acesso em: 15 jun. 2019.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 5. ed. Tradução Joaquim Pinheiro Nunes da Silva. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

MOURÃO, M. B. (Coord.). **Introdução à Siderurgia**. São Paulo: ABM, 2007.

PONTES, T. O. **Caracterização da microestrutura e microdureza de um aço SAE 1010 laminado a quente em planta industrial**. 2013. 47f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade Federal do Ceará, Curso de Engenharia Metalúrgica, Fortaleza, 2013.

SILVA, A. L. V. da C.; MEI, P. R. **Aços e ligas especiais**. 3. ed. São Paulo: Blücher, 2010.

USIMINAS. **Usiminas retoma produção do alto-forno 1 em Ipatinga**. 2018. Disponível em:  
<<https://www.usiminas.com/blog/usiminas-retoma-producao-do-alto-forno-1-em-ipatinga/>>. Acesso em: 30 maio 2019.