

## O ENTENDIMENTO DO AÇO: DO DESENVOLVIMENTO A SUAS PATOLOGIAS

Vagner Minoro Shiguematsu BISPO<sup>1</sup>  
Elton Aparecido Prado dos REIS<sup>2</sup>

**RESUMO:** O aço consiste em uma liga metálica de ferro e carbono, sendo muito utilizado na construção civil, indústria automobilística e produção de eletrodomésticos. No atual estágio de desenvolvimento da sociedade, é difícil imaginar o mundo sem o uso do aço, sendo a produção deste um forte indicador do estágio de desenvolvimento econômico de um país. Contudo, a utilização deste material sofre com o surgimento de patologias que diminuem suas propriedades mecânicas e conseqüentemente sua vida útil. Desse modo, o presente artigo busca verificar e estudar as principais patologias presentes em produtos fabricados com aço.

**Palavras-chave:** Aço, Ferro, Patologia, Corrosão.

### 1 INTRODUÇÃO

A evolução da sociedade humana sempre esteve relacionada com o surgimento de novas tecnologias, sendo possível correlacionar cada grande período de desenvolvimento da humanidade com a descoberta de novos materiais (PAVANATI, 2010).

O ferro, material com grande importância na construção civil, é um metal obtido em siderúrgicas por meio dos minérios de ferro, sendo o quarto elemento mais abundante na crosta terrestre (ASHBY e JONES, 2007 apud PAVANATI, 2010).

De acordo com Amaral (2013, p.39),

---

<sup>1</sup> Discente do 4º ano do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. vagnersbispo@gmail.com.

<sup>2</sup> Docente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário “Antonio Eufrásio de Toledo” de Presidente Prudente. Doutor em Ciência e Tecnologia de Materiais do programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia dos Materiais (POSMAT) da Universidade Estadual Paulista. elton.reis@toledoprudente.edu.br. Orientador do trabalho.

Tal é a importância industrial deste material que sua metalurgia recebe a denominação especial de siderurgia, e a sua influência no desenvolvimento humano foi tão importante que uma parte da história da humanidade foi denominada Idade do Ferro, que se iniciou em 3500 a.C., e que, de certa forma, ainda perdura.

No passado, o ferro foi muito utilizado em sua forma tradicional até o descobrimento do aço. A fronteira entre ferro e o aço foi definida na Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir impurezas do ferro, como também inserir novos componentes que adicionavam propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto, à corrosão, etc. Desse modo, surgiu o aço que consiste em uma liga metálica composta de ferro e carbono com certos elementos residuais do processo de fabricação (AMARAL, 2013).

Atualmente, o ferro é empregado na produção de aço, mediante a fabricação de automóveis, máquinas, ligas metálicas, vergalhões, dentre uma infinidade de aplicações. Com o desenvolvimento de novas tecnologias, passou a ser utilizado como elemento principal em métodos construtivos como o *Light Steel Framing*, recebendo caráter estrutural.

As diversas propriedades mecânicas e térmicas que o aço apresenta, como maleabilidade, durabilidade, elasticidade, boa resistência e boa condutividade térmica, o tornam um dos materiais mais importantes na engenharia. Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade (FERRAZ, 2003).

Todavia, um aspecto negativo dos materiais feitos de ferro é que, com o tempo, eles estão propensos a sofrer com os processos de corrosão, gerando enormes prejuízos econômicos e ambientais. Estima-se que 30% da produção de aço no mundo seja destinada à reposição de estruturas, equipamentos e instalações metálicas deterioradas pela oxidação, corrosão e ferrugem (QUIMATIC, 2017).

Assim sendo, cada vez mais, são realizadas pesquisas e desenvolvidos novos materiais combinando diversos elementos com a finalidade de obter-se produtos que agreguem diversas propriedades.

Portanto, o presente trabalho tem como objetivo estudar a composição e formação do aço, visando verificar os efeitos das principais patologias oriundas da aplicação e uso deste material.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Através dos minérios existentes na natureza é possível obter os mais diversos metais, tais como o ferro, a prata, o mercúrio, o cobre, o chumbo e o zinco. A metalurgia é a área que estuda essas transformações, um dos ramos da metalurgia é a siderurgia (do grego “trabalho feito sobre o ferro”), que estuda as formas de obtenção do ferro e do aço a partir de seus minérios (FOGAÇA, s.d.).

### 2.1 A Formação do Ferro

O ferro consiste em um metal, que não é encontrado na sua forma metálica isolada, mas sim na forma de seus minérios. Os minerais que mais apresentam ferro em sua composição são os óxidos, carbonatos, sulfetos e silicatos; que podem ser observados na Tabela 1 (PAVANATI, 2010).

**Tabela 1 - Principais Minérios de Ferro.**

Minério de Ferro	Fórmula	Quantidade Média de Ferro (%)
Hematita	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	70,0
Magnetita	$\text{Fe}_3\text{O}_4$	72,4
Limonita	$\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	59,9
Siderita	$\text{FeCO}_3$	48,3

Fonte: Adaptado de PAVANATI, 2010.

O princípio básico da formação do ferro se dá a partir da interação de seus minérios com o monóxido de carbono (CO) produzido pela combustão do carvão. Os minérios de ferro consistem na principal matéria-prima do alto-forno, pois é deles que se extrai o ferro (SILVA, s.d.).

O processo de transformação desses minérios em ferro consiste na colocação de minério de ferro, carvão e calcário (carbonato de cálcio) no alto-forno. A combustão do carvão produz energia térmica necessária para a produção de monóxido de carbono (CO), que por sua vez, reage com o minério (SILVA, s.d.).

Então, no alto-forno é adicionado calcário ( $\text{CaCO}_3$ ) que devido ao calor do alto-forno decompõe-se em óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) e gás carbônico com o propósito de eliminar as impurezas dos minérios de ferro. Desse modo, o óxido reage com as impurezas, formando a escória. Todavia, apesar de todo esse processo, o ferro ainda apresenta traços de impurezas (SILVA, s.d.).

## **2.2 A Produção do Aço**

Na produção do aço, o minério de ferro, cuja forma básica é o óxido de ferro ( $\text{FeO}$ ), é aquecido em fornos especiais (altos fornos), com a presença de carbono (sob a forma de coque ou carvão vegetal) e de fundentes, que auxiliam na produção da escória, que, por sua vez, é formada de materiais indesejáveis ao processo de fabricação. Este procedimento de remoção do oxigênio do ferro para ligar-se ao carbono chama-se redução (FERRAZ, 2003).

No processo de redução, o ferro se liquefaz gerando um novo elemento denominado de ferro gusa ou ferro de primeira fusão com teor elevado de carbono de 3,5 a 4%. Após uma análise química do ferro, em que se verificam os teores de carbono, silício, fósforo, enxofre, manganês entre outros elementos, o mesmo segue para uma unidade da siderúrgica denominada aciaria, onde será transformado em aço (AMARAL, 2013; FELÍCIO, 2012; FERRAZ, 2003).

A etapa de refinamento transforma o ferro gusa em aço, mediante a remoção de carbono e impurezas, com teor de carbono de no máximo 2%. O que temos então é uma liga metálica constituída basicamente de ferro e carbono, este último variando de 0,008% até aproximadamente 2,11%, além de certos elementos residuais resultantes de seu processo de fabricação. O limite de 0,008% de carbono está relacionado à sua máxima solubilidade no ferro à temperatura ambiente (solubilidade é a capacidade do material de se fundir em solução com outro), enquanto que o segundo 2,11% é referente à temperatura de 1148° C (AMARAL, 2013; FERRAZ, 2003).

Por fim, o aço, em processo de solidificação, é deformado mecanicamente e transformado em produtos siderúrgicos constituindo assim o processo de laminação (FERRAZ, 2003).

### 2.2.1 A estrutura do aço

Os aços diferenciam-se entre si pela forma, tamanho e uniformidade dos grãos que o compõem e, é claro, por sua composição química. Esta pode ser alterada em função do interesse de sua aplicação final, obtendo-se através da adição de determinados elementos químicos, aços com diferentes graus de resistência mecânica, soldabilidade, ductilidade, resistência à corrosão, entre outros (FERRAZ, 2003).

Como os demais metais, o aço é um material cristalino, ou seja, os átomos, íons ou moléculas estão espacialmente arranjados. Desse modo, esse material se solidifica pela formação de cristais, que vão crescendo a diferentes direções, formando os denominados eixos de cristalização (FERRAZ, 2003; OVILEIRA, s.d.).

A partir de um eixo principal, crescem eixos secundários, que por sua vez se desdobram em novos eixos e assim por diante até que toda a massa do metal se torne sólida. O conjunto formado pelo eixo principal e secundários de um cristal é denominado dendrita (FERRAZ, 2003).

**Figura 1** - Esquema Estrutural de uma Dendrita.



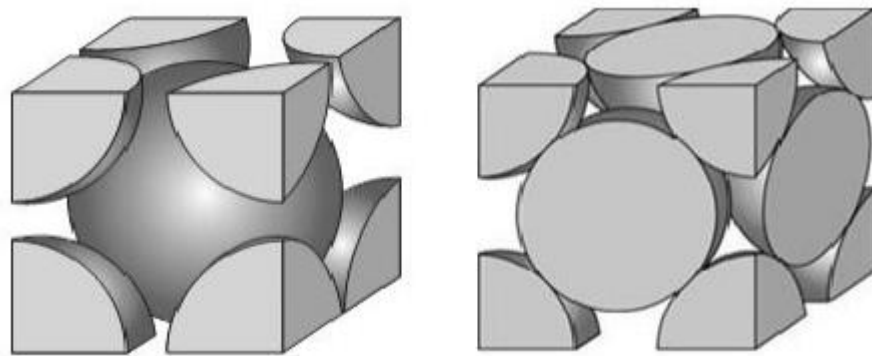
Fonte: FERRAZ, 2003.

O encontro de duas dendritas origina uma superfície de contato e ao término do processo de cristalização, formam cada uma, os grãos que compõem o metal (FERRAZ, 2003).

Por se tratar de um material alotrópico (apresenta mais de uma estrutura cristalina), a formação de cristais no ferro ocorre segundo dois tipos de reticulados: o  $\alpha$  e  $\beta$ . Ambos fazem parte de um sistema cristalino cúbico, ou seja, a célula unitária do cristal tem a forma de um cubo (OVILEIRA, s.d.).

No primeiro tipo de reticulado ( $\alpha$ ) denominado cúbico de corpo centrado (CCC), ao isolar-se a célula unitária do cristal, verifica-se que os átomos de ferro se localizam nos oito vértices e no centro do cubo, enquanto que no segundo ( $\beta$ ) agora denominado cúbico de face centrada, os átomos ficam posicionados nos oito vértices e no centro de cada face do cubo (OVILEIRA, s.d.).

**Figura 2** - Estrutura Cúbica de Corpo Centrado (CCC) e Cúbica de Face Centrada (CFC).



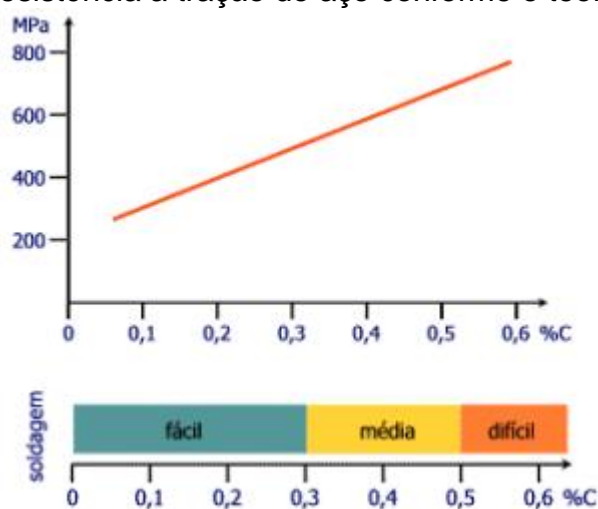
Fonte: FERRAZ, 2003.

Além do ferro, o aço apresenta em sua constituição carbono e elementos de liga. O carbono forma uma solução sólida intersticial com o ferro, isto é, os átomos de carbono se colocam nos interstícios da estrutura cristalina do ferro. Estes elementos vão formar junto com o ferro uma solução, e, de acordo com a temperatura, haverá a presença de um determinado tipo de reticulado e conseqüentemente, a variação nas propriedades do material (FERRAZ, 2003; OVILEIRA, s.d.).

## 2.2.2 As propriedades do aço

Conforme o teor de carbono as propriedades mecânicas do aço apresentam significativa variabilidade, quanto maior a presença do carbono, maior será a resistência à tração e, por consequência a dureza. Todavia, outros aspectos como menor ductilidade e maior fragilidade serão reforçados (OLIVEIRA, s.d.).

**Figura 3** - Resistência a tração do aço conforme o teor de carbono.



Fonte: OLIVEIRA, s.d.

A resistência a tração é medida pela quantidade de força necessária para gerar a quebra de um material por estiramento. A Dureza é a propriedade característica de um material sólido, que expressa sua resistência a deformações permanente, sendo diretamente relacionada com a força de ligação dos átomos. A principal maneira de avaliar a dureza de um material consiste em verificar a resistência que a superfície do material oferece à penetração de uma peça de maior dureza (RODRIGUES, 2012).

A ductilidade pode ser descrita como a capacidade que os certos tipos de materiais apresentam de se deformar sem se romper. Pode ser medido por meio do alongamento ( $\epsilon$ ) ou da estricção, ou seja, redução na área de seção transversal do corpo de prova. Quanto mais dúctil o aço, maior será a redução de área ou alongamento antes da ruptura. A ductilidade tem grande importância devido à aplicação em estruturas metálicas, pois permite a redistribuição de tensões locais elevadas (RODRIGUES, 2012).

## 2.3 Principais Patologias

O termo "patologia" é derivado do grego (pathos - doença, e logia - ciência, estudo) e significa "estudo da doença". No estudo do aço pode-se atribuir patologia ao estudo dos danos ocorridos ao material devido a exposição e ação de meios externos (LOTTERMANN, 2013).

A corrosão consiste, em geral, em um processo espontâneo presente nas mais variadas atividades. Este processo pode ser definido como o fenômeno resultante da ação química ou eletroquímica de um meio sobre um determinado material, sendo usualmente associado aos metais, porém podendo ocorrer em materiais não metálicos como concreto e polímeros (GENTIL, 2003)

Os processos de corrosão de metais envolvem uma grande variedade de mecanismos que, contudo, podem ser reunidos em quatro grupos: corrosão em meios aquosos; oxidação e corrosão quente; corrosão em meios orgânicos e corrosão por metais líquidos. A corrosão em meios aquosos é a mais frequente, visto que a maioria dos fenômenos de corrosão ocorre no meio ambiente, no qual a água é o principal solvente (WOLYNEC, 2003).

A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional causa alterações prejudiciais e indesejáveis, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando inadequado o uso do material (GENTIL, 2003).

Dessa forma, quando acontece o desgaste do metal a partir do fenômeno de oxidação, inicia-se o processo de corrosão. Em um ciclo vicioso, ocorre um maior desprendimento do metal, que vai ficando cada vez mais exposto aos danos causados pelo contato com a atmosfera. Se o metal contar com ferro em sua composição dá-se início à ferrugem. Quando estão oxidados e corroídos, os metais ferrosos começam a gerar o hidróxido de ferro, a camada avermelhada conhecida como ferrugem. A ferrugem destrói a resistência do metal e, dependendo de sua amplitude, inviabiliza a recuperação (BISPO, 2018; QUIMATIC, 2017).

Atualmente, existem revestimentos, técnicas e aços desenvolvidos com elementos de liga que buscam proteger os produtos feitos à base de metais contra o ataque químico da corrosão, prevenindo o contato entre o agente corrosivo e o metal



através da formação de uma película protetora, ou, neutralizando o efeito do agente agressor.

### **3 CONCLUSÃO**

O aço consiste em uma liga metálica composta por ferro e carbono bastante empregada na construção civil e na indústria, sendo utilizado como matéria prima na fabricação dos mais diversos produtos, dentre eles eletrodomésticos, veículos, materiais de construção, entre outros.

A popularidade do aço deriva de sua grande aplicabilidade, sendo suas propriedades mecânicas um dos fatores que o faz ser tão utilizado. Contudo essas propriedades variam de acordo com os diferentes tipos de material e as suas composições.

Hoje em dia, um dos grandes problemas presentes na aplicação do aço consiste no processo de corrosão que diminui as propriedades mecânicas do material e gera a perda de sua vida útil. Desse modo, aditivos e elementos de liga com propriedades anticorrosivas são adicionados ao material de forma a proporcionar condições adequadas para seu uso em determinados tipos de aplicações. Entretanto, a utilização dessas tecnologias se torna inviável para qualquer tipo de aplicação devido ao custo agregado do processo.

Portanto, ao término do trabalho verificou-se a necessidade do desenvolvimento de novas tecnologias que proporcionem propriedades anticorrosivas ao aço, de baixo valor agregado, gerando um modelo mais sustentável.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AMARAL, E. D. **Ganhos ambientais e econômicos na redução de consumo de aço em uma indústria de autopeças pela aplicação da filosofia *Kaizen***. 89 f. 2013. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Faculdade de Engenharia de Ambiental. Florianópolis, SC, 2013.

BISPO, V. M. S. **Aplicabilidade da melanoidina como aditivo em materiais da construção civil**. ETIC - ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2018.

FELÍCIO, E. A. **Estudo da implementação do conceito da produção enxuta para a redução de resíduos em uma manufatura do ramo siderúrgico**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG, 2012.

FERRAZ, Henrique. O aço na construção civil. **Revista Eletrônica de Ciências**. Outubro 2003, núm. 22. Disponível em:  
<https://www.ft.unicamp.br/~mariaacm/ST114/O%20A%C7O%20NA%20CONSTRU%C7%C3O%20CIVIL.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2019.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Obtenção de Ferro**. Disponível em:  
<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/obtencao-ferro.htm>. Acesso em: 16 ago. 2019.

GENTIL, Vicente. **Corrosão**. Livros Técnicos e Científicos S.A. 3 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1996. Disponível em:  
<https://www.ebah.com.br/content/ABAAAgwz8AD/gentil-v-corrosao-3ed#>. Acesso em: 21 abri. 2019.

LOTTERMANN, A. F. **Patologia em estruturas de concreto: Estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, RS, 2013.

OLIVEIRA, A. O. **Materiais para construção mecânica**. Apostila do Centro de Formação Profissional “Fidélis Reis”. Uberaba, MG, 2004.

PAVANATI, H. C. **Introdução à Tecnologia dos Materiais**. Apostila do Curso de Técnico de Mecânica Industrial do Instituto Federal de Santa Catarina, 2010.

QUIMATIC. **Entender a diferença entre oxidação, ferrugem e corrosão garante melhor proteção aos metais**. 2017. Disponível em:  
<https://www.quimatic.com.br/blog/2017/03/entender-a-diferenca-entre-oxidacao-ferrugem-e-corrosao-garante-melhor-protacao-aos-metais/>. Acesso em: 28 abri. 2019.

RODRIGUES, M. C. **Propriedades do aço**. 2018. Disponível em:  
<https://www.passeidireto.com/arquivo/4421505/propriedades-do-aco-1->. Acesso em: 16 ago. 2019.abri. 2019.

SILVA, Erivanildo Lopes da. **Ferro – Ocorrência, obtenção industrial, propriedades e utilização**. Disponível em:  
<https://educacao.uol.com.br/disciplinas/quimica/ferro-ocorrencia-obtencao-industrial-propriedades-e-utilizacao.htm>. Acesso em: 16 ago. 2019.

WOLYNEC, Stephan. **Técnicas eletroquímicas em corrosão**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2003. Disponível em:  
<https://books.google.com.br/books?hl=pt->

BR&lr=&id=qcOI1mv1vbQC&oi=fnd&pg=PA11&dq=corros%C3%A3o+metais&ots=1  
HXbivFeua&sig=KSMYIFO9HJxAT5Pfggl\_N\_mEHxs#v=onepage&q&f=false. Acesso  
em: 21 abri. 2019.