

# MERCADO, RECICLAGEM E AS INOVAÇÕES DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Mathias de Carvalho Moraes Barbosa

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Metalúrgica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Rupen Adamian.

Rio de Janeiro  
Julho de 2019

# MERCADO, RECICLAGEM E AS INOVAÇÕES DA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Mathias de Carvalho Moraes Barbosa

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA METALÚRGICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO METALÚRGICO.

Examinado por:

---

Profº Rupen Adamian, D. Sc.

---

Profº Achilles Junqueira Bourdot Dutra, D. Sc.

---

Prof Renata Antoun Simão, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JULHO DE 2019

De Carvalho Moraes Barbosa, Mathias

Mercado, Reciclagem e as Inovações na Indústria Siderúrgica / Mathias de Carvalho Moraes Barbosa. – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2019.

IX, 38 p.: il.; 29,7cm.

Orientador: Rupen Adamian

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Curso de Engenharia Metalúrgica, 2019.

Referências Bibliográficas: p. 37-38

1. Aços. 2. Reciclagem. 3. Inovações. 4. Sucata.
5. Inox. I. Adamian, Rupen. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Metalúrgica. III. Título.

# Agradecimentos

Esta fase da minha vida é muito especial e não posso deixar de agradecer, primeiramente, a minha família, por toda força, ânimo e coragem que me ofereceram para ter alcançado minha meta, sem elas nada disso teria sido possível. Além deles, também preciso agradecer aos colegas e amigos mais próximos, tanto de dentro quanto de fora da faculdade, pelos estudos, conversas e bons momentos. À Universidade quero deixar uma palavra de gratidão por ter me recebido de braços abertos e com todas as condições que me proporcionaram dias de aprendizagem muito ricos. Não esqueço o papel que a Universidade teve ao longo de todo meu percurso e por isso agradeço os recursos e o apoio que sempre me ofereceu.

Aos professores reconheço um esforço gigante com muita paciência e sabedoria. Foram eles que me deram recursos e ferramentas para evoluir um pouco mais todos os dias. Em especial, ao professor Rupen Adamian, por todo apoio, atenção e dedicação para me orientar nessa monografia, além dos professores Achilles Junqueira Bourdot Dutra e Renata Antoun Simão, por aceitarem participar gentilmente dessa banca. Vocês me inspiraram a me tornar um profissional melhor a cada dia. A quem não mencionei mas esteve presente ao meu lado eu quero lembrar que não estão esquecidos: vocês foram imensamente importantes para concluir meu curso.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Metalúrgico.

## MERCADO, RECICLAGEM E INOVAÇÕES NA INDÚSTRIA SIDERÚRGICA

Mathias de Carvalho Moraes Barbosa

Julho/2019

**Orientador:** Rupen Adamian.

**Palavras-chave:** Aços, reciclagem, inovações, inox, sucata.

O objetivo do trabalho a seguir é investigar o mercado nacional e internacional do aço, dando ênfase à importância de melhorias e inovações nos processos industriais, assim como a evolução do cenário brasileiro e mundial dentro da indústria siderúrgica. Além disso, foram analisados os processos de fabricação primária e secundária, suas etapas mais importantes, assim como algumas inovações referentes aos processos em questão. Foi feito um levantamento dos principais países produtores de aço, assim como as principais empresas envolvidas, com ênfase naquelas que operam em nosso país, resultando em uma análise de um provável cenário para o futuro do setor no Brasil.

Abstract of Undergraduate Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for degree of Engineer.

## MARKET, RECYCLING AND INNOVATION IN THE STEEL INDUSTRY

Mathias de Carvalho Moraes Barbosa

July/2019

**Advisor:** Rupen Adamian.

**Key Words:** Steel, Recycling, Innovation, Stainless, Scrap.

The objective of the following work is to investigate the national and international steel market, emphasizing the importance of improvements and innovations in industrial processes, as well as the evolution of the Brazilian and world scenario within the steel industry. In addition, we analyzed the primary and secondary manufacturing processes, their most important stages, as well as some innovations related to the processes in question. A study of the main steel producing countries was made, as well as the main companies involved, resulting in the analysis of a likely scenario for the future of the sector in Brazil.

# Sumário

|  |      |
|--|------|
| Lista de Figuras .....   | viii |
| Lista de Tabelas .....   | ix   |
| 1. Introdução.....   | 1    |
| 1.1. História .....  | 1    |
| 1.2. Definições .....  | 3    |
| 1.3. Etapas do Processo Siderúrgico.....                             | 4    |
| 1.4. Importância do Aço .....  | 6    |
| 1.5. Inovações no Setor Siderúrgico.....                             | 6    |
| 1.5.1. Novos Processos na Indústria Siderúrgica.....                 | 7    |
| 1.5.2. Novos Produtos.....   | 9    |
| 2. Processos de fabricação de aços .....                             | 11   |
| 2.1. Classificação das Usinas Siderúrgicas.....                      | 11   |
| 2.2. Alto-Forno .....  | 11   |
| 2.3. Aciaria LD .....  | 12   |
| 2.4. Matérias-primas em usinas integradas.....                       | 14   |
| 2.5. Aciaria Elétrica .....  | 14   |
| 3. Sucatas Ferrosas .....  | 17   |
| 3.1. Geração da Sucata .....   | 17   |
| 3.2. Processamento da Sucata.....                                    | 18   |
| 3.3. Mercado de Sucatas no País .....                                | 19   |
| 4. Mercado Siderúrgico .....   | 22   |
| 4.1. Produção Siderúrgica e Mercado Brasileiro .....                 | 22   |
| 4.2. Produção e Mercado Internacional .....                          | 24   |
| 4.3. Faturamento da Indústria e Evolução da produção no Brasil ..... | 28   |
| 4.4. Cenário para o Futuro da indústria no mundo .....               | 32   |
| 5. Conclusões .....  | 34   |
| Referências Bibliográficas.....                                      | 37   |

# Lista de Figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Gráfico Tensão (MPa) x Deformação.....                                       | 4  |
| Figura 2 - Etapas do processo de produção do aço [9].....                               | 5  |
| Figura 3 - Máquina de Lingotamento Contínuo [10] .....                                  | 8  |
| Figura 4 - Exemplos de peças que utilizam aços especiais [13].....                      | 10 |
| Figura 5 - Fluxo do processo siderúrgico [16] .....                                     | 13 |
| Figura 6 - Geração de sucata ferrosa no Brasil no período de 2004 a 2011 [18] .....     | 18 |
| Figura 7 - Uso de sucata ferrosa na produção mundial de aço bruto [18].....             | 19 |
| Figura 8 - Uso de sucata ferrosa na produção de aço bruto no Brasil [18] .....          | 20 |
| Figura 9 - Mercado de exportação de sucata (2016). Adaptada pelo autor. [20] .....      | 21 |
| Figura 10 - Mercado de Importação de sucata (2016). Adaptada pelo autor. [20].....      | 21 |
| Figura 11 - Produção de Aço no Brasil. Adaptada pelo autor. [9] .....                   | 22 |
| Figura 12 - Produção de Aço Bruto Mundial, 2007-2016. Adaptada pelo autor. [20]...      | 26 |
| Figura 13 - Participação brasileira na produção mundial. Adaptada pelo autor. [20] .... | 28 |
| Figura 14 - Destino das Exportações Brasileiras de Ferro-Gusa em 2017. [23] .....       | 30 |
| Figura 15 - Previsão para a demanda mundial de aço, em milhões de toneladas. [24] ..    | 32 |

# Lista de Tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Evolução da rota de produção de aço na Europa e EUA [19] .....           | 15 |
| Tabela 2 - Parque Siderúrgico Brasileiro por estado. [9] .....                      | 23 |
| Tabela 3 - Classificação dos maiores produtores de aço do mundo em 2014-2015 [22]   | 25 |
| Tabela 4 - Classificação das maiores empresas produtoras de aço em 2015. [22] ..... | 27 |
| Tabela 5 - Faturamento da Indústria de Aço entre os anos de 2000 e 2007. [19] ..... | 29 |
| Tabela 6 - Preço médio de produtos de aço entre 1985 e 2007. [19] .....             | 29 |
| Tabela 7 - Consumo mundial de aço per capita (kg/habitante). [23] .....             | 31 |

# 1. Introdução

## 1.1. História

A utilização do ferro e do aço foi comprovada na antiguidade, tanto por relatos de civilizações como Babilônia e Roma, quanto pelo atestado de arqueólogos, ao encontrarem o material em armas e ferramentas. Esses materiais possuem grandes variações de composição química e de propriedades, por vezes parecendo com o ferro fundido, outras vezes se aproximando da composição do aço atual. [1]

Desde o período Neolítico (10 a 6 mil anos a.C.), quando o homem aprendeu a obter o ferro, um material que poderia se tornar cortante, ele já era considerado um material valioso. Isso ocorria pelo fato do ferro ser obtido dos meteoritos, sendo material muito raro e valorizado, antes de se desenvolver um processo de obtenção do metal. O fato de terem sido inicialmente obtidos por meteoritos, inclusive, deu nome à indústria siderúrgica, onde o radical latino *sider* deriva da palavra estrela ou astro. [2]

Algumas evidências mostram que os povos já conheciam maneiras de se obter o cobre e produzir suas ligas a partir de minério, resultando em bronze e latão. Por isso, mesmo depois de aprender a extrair o ferro de seu minério, a principal liga continuava sendo o bronze, por ser processado com maior facilidade. O aço só começou a substituir as ligas de cobre quando, enfim, o homem conseguiu aprimorar e dominar os processos de redução, forjamento e endurecimento dessa liga. Acredita-se que, após o ano 1100 a.C., a produção do ferro era comum para os povos mais avançados. [1]

O começo da utilização do ferro, era preciso fundir o metal com carvão vegetal para obter o aço, na qual colocava-se a mistura de ferro e carvão dentro de um cadinho de barro em um buraco no solo, onde permanecia queimando lentamente por vários dias. Após retirar o metal formado, ele era novamente aquecido e trabalhado com um martelo, inúmeras vezes, para conseguir dar forma ao material, assim como desprender a escória formada durante a redução e melhorar as propriedades do metal. Após algum tempo, já possuindo maior experiência nesse setor, passou-se a extrair o ferro de seus óxidos, com processo seguinte para a produção de aço. [3]

No século XVII houve uma grande conquista, quando foi desenvolvida uma técnica para produzir o coque, através da destilação do carvão mineral, na ausência do ar. Com a técnica, desenvolvida pelo inglês Abraham Darby, a siderurgia deu um grande passo, não

sendo mais necessário o carvão proveniente da madeira, que por sua vez era um combustível caro e de difícil renovação. Em função do uso do coque, houve a invenção do alto-forno, com o surgimento de cadinhos de grande capacidade, além de fornalhas de reaquecimento, usadas no forjamento e laminação. [4]

No século XIX, foi possível atingir a produção de aço em grande escala, a baixo custo, com a adoção do conversor Bessemer, criado por Henry Bessemer. Esse processo se baseava na retirada de impurezas do ferro pela oxidação dessas impurezas pelo oxigênio, soprado para dentro do conversor. Essa oxidação, que ocorre em um vaso revestido por um refratário ácido, por ser uma reação fortemente exotérmica, mantém o ferro no seu estado fundido, aumentando a temperatura. Algumas décadas depois, outro marco da siderurgia foi alcançado por Sidney Thomas, com seu processo básico, onde o convertedor era carregado com o ferro-gusa, com alto teor de fósforo.

Para esses dois processos, o ar era injetado pelas ventaneiras no fundo do convertedor, para transformar ferro líquido em aço com uma boa qualidade, onde o ferro líquido era saturado com carbono. Entretanto, ambos os processos ainda produziam aços com baixa qualidade para muitas finalidades, por resultar em um aço com alto teor de fósforo. Ainda não era a utilização de oxigênio puro ao invés de ar (em função do preço e de danos no revestimento refratário).

O processo desenvolvido por Siemens sobrepujou o processo Bessemer, apesar de ainda apresentar uma baixa produtividade. O processo Siemens era realizado com a queima de um gás combustível por cima da carga metálica, que era aquecida pela queima de um óleo combustível. A etapa de refino resultava em aços de melhor qualidade, devido ao maior controle do processo, em relação ao de Bessemer. Alguns anos depois, o metalurgista Pierre Martin melhorou essa tecnologia, originando o processo Siemens-Martin, que tinha como sua principal vantagem em relação ao Bessemer, a possibilidade do uso de sucata em grande quantidade. A crescente produção industrial gerou um contínuo aumento de sucata disponível e, quanto mais a sucata era abundante e barata, mais esse processo ia substituindo o processo Bessemer. [4], [5], [6]

No Brasil, houve muito trabalho para o país ser autossuficiente na produção de aço. Dois importantes fatores são citados por Pelaez (1970) para o maior interesse na produção de ferro: a expansão da ferrovia D. Pedro II, ligando Rio de Janeiro a São Paulo e Minas Gerais, na segunda metade do Século XIX; e a criação da Escola de Minas de Ouro Preto. Porém, conforme relatos da Associação Brasileira de Metais (1989), o processo de

desenvolvimento siderúrgico só alcançou sua autonomia nos anos de 1950 e 1960, quando o Brasil deixa de importar lingotes de aço, diminuindo suas importações. Além disso, na década de 1950 foram fundadas a Companhia Siderúrgica Paulista (COSIPA) e as Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais (USIMINAS), se juntando a grande Cia. Siderúrgica Nacional (CSN). [7]

## 1.2. Definições

O aço é uma liga metálica constituída basicamente por ferro e carbono, e com percentuais de carbono variando entre 0,008 e 2,11%. Essa liga pode conter outros elementos, como níquel, cromo, molibdênio, vanádio, nióbio, podendo ter suas propriedades melhoradas, além de se tornar extremamente resistente. [5] Essa liga se diferencia do ferro fundido exatamente pela porcentagem de carbono contida, pois este possui teores de carbono acima de 2,11%. Assim, a grande diferença entre o aço e o ferro fundido é que, enquanto o aço é facilmente deformável (pela sua ductilidade), seja por laminação, extrusão ou forjamento, o ferro fundido é uma liga bastante frágil. [8]

O aço pode ser classificado por quatro maneiras diferentes: pela porcentagem de carbono; por sua composição química; em função de sua microestrutura; e quanto à sua aplicação. No entanto, a classificação mais comum se dá em função de sua composição química.

O aço possui um comportamento dúctil, passando por deformação em regime elástico e regime plástico, como mostra a figura 1, a seguir. Assim, até certa tensão aplicada ao material, ele trabalha em um regime elástico e linear, até seu limite de proporcionalidade (ou de escoamento). Ultrapassando esse limite, ocorre a fase plástica da deformação, que faz com que a deformação cresça sem variação linear da tensão aplicada.

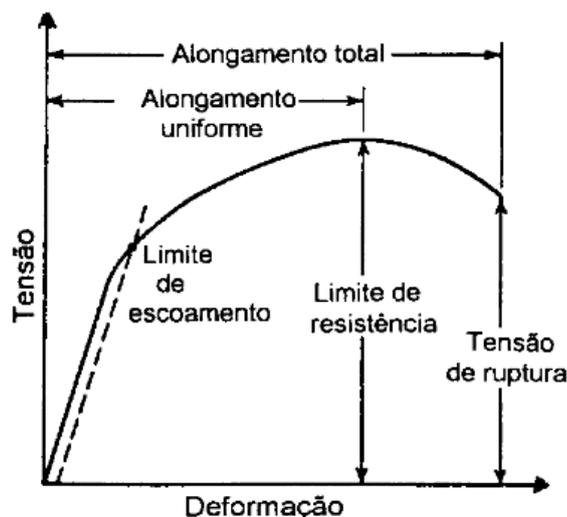


Figura 1 - Gráfico Tensão (MPa) x Deformação

Esse valor constante de tensão é uma característica importante dos aços, chamada resistência ao escoamento, sendo a tensão máxima que o material pode suportar ainda no regime elástico. Outro ponto importante é o maior valor da tensão antes da ruptura, chamada tensão de resistência à ruptura, sendo o valor da tensão que o aço pode suportar sem sofrer ruptura.

### 1.3. Etapas do Processo Siderúrgico

Basicamente, o aço é produzido a partir de três matérias-primas: minério de ferro, calcário e coque. Esse processo de obtenção do aço pode ser melhor explicado quando dividido em cinco etapas diferentes: a preparação da carga utilizada, o processo de redução, o processo de refino, o lingotamento e a laminação, como mostrado na figura 2.

O minério de ferro in natura quase não é mais utilizado, sendo necessário sempre uma etapa de beneficiamento. O minério é concentrado na forma de sinter ou pelotas, para então conseguir ser utilizado na redução. No Brasil, o óxido férrico ( $Fe_2O_3$ ), também conhecido como hematita, é o principal mineral útil, enquanto nos Estados Unidos, o principal mineral é o  $Fe_3O_4$  (magnetita). O coque exerce duas funções na fabricação do aço: como combustível, por permitir chegar a altas temperaturas, necessárias para se fundir o minério; e como um importante redutor, porque ele se associa ao oxigênio, resultando no monóxido de carbono, que é o verdadeiro redutor.

A primeira etapa consiste na aglomeração de grande parte do minério de ferro, o qual é aglomerado com calcário e finos de coque, resultando num produto chamado sinter.

Enquanto isso, ocorre o processamento do carvão na coqueria para se chegar ao coque. Essas matérias-primas são então carregadas no alto forno, sendo utilizadas na segunda etapa do processo: a redução.

No alto forno, o oxigênio é aquecido a altas temperaturas, próximas de 1000°C, e soprado pela parte de baixo do alto forno. O carbono reage com o oxigênio soprado e produz o calor necessário para fundir a carga metálica, o que dá início, de fato, ao processo de redução do minério, produzindo ferro-gusa, uma liga composta de ferro e carbono, mas que possui um teor ainda elevado de carbono (próximo de 4,5%) em sua composição.

Após a produção do ferro-gusa, a etapa seguinte é o processo de refino. Ele ocorre nas aciarias, que podem ser a oxigênio ou elétricas, que utilizam o gusa produzido na redução, além de sucata, para produzir o aço líquido. Essa etapa é essencial, pois uma parcela do carbono contido no ferro-gusa é removida do material, além da remoção de parte das impurezas. O aço líquido resultante será solidificado por lingotamento contínuo para a produção de produtos como blocos, lingotes e semiacabados.

A etapa de lingotamento leva o aço líquido ao estado sólido, fazendo com que o aço seja moldado em lingotes e após essa etapa, esses produtos entram na laminação, onde são processados por laminadores para produzirem uma grande variedade de produtos siderúrgicos. Todo o processo pode ser representado na figura 2, a seguir. [9]

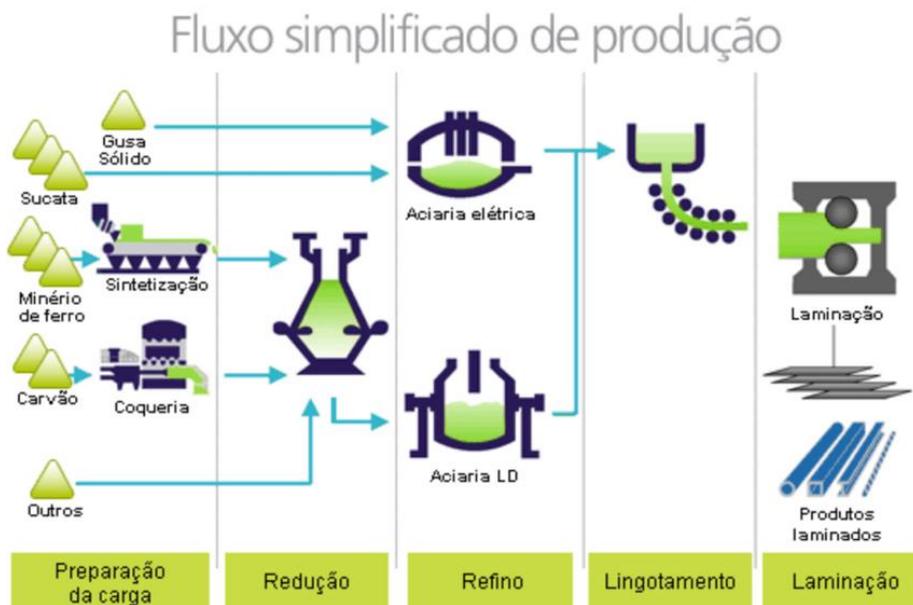


Figura 2 - Etapas do processo de produção do aço [9]

#### **1.4. Importância do Aço**

Em nossa sociedade, o aço é um dos materiais mais importantes, por ter entre suas propriedades, ótima resistência mecânica, podendo ser conformado e trabalhado, para ser usado em inúmeras aplicações, tanto em utensílios domésticos, como componentes de engenharia. Um exemplo disso ocorre entre os meios de transporte atuais, pois todos têm a utilização do aço como fundamental para sua existência, seja no transporte automotivo, ferroviário, marítimo ou aéreo. Além dos meios de transporte, o aço também é usado em linhas de transmissão de energia elétrica, redes de telefonia e tubulações de água, além de estar bastante presente nas casas, tanto nas estruturas de construções, como em utensílios domésticos.

Como dito anteriormente, o aço também pode ter várias propriedades melhoradas, principalmente em função da adição de elementos de liga, como níquel, cromo e molibdênio, que melhoram suas propriedades mecânicas e resistência à corrosão, ou em função de alguns tratamentos térmicos no material. Por exemplo, tendo adição do cromo, a liga aumenta sua resistência a corrosão; com a adição do níquel, aumenta-se a resistência para as altas temperaturas encontradas nas caldeiras e outras tubulações. Essas propriedades dependem muito do estrito controle dos elementos presentes na liga, além do controle de impurezas e defeitos, que podem ser causados, por exemplo, por óxidos e gases como oxigênio, hidrogênio e nitrogênio.

Assim, pode-se perceber que é impossível imaginar o mundo moderno sem a utilização do aço. Além disso, o consumo per capita de aço pode ser relacionado com o avanço econômico de um país e de sua industrialização, o que mostra a importância desse material nos dias atuais.

#### **1.5. Inovações no Setor Siderúrgico**

Inovações tecnológicas normalmente ocorrem baseadas em dois fatores: necessidade de aumento da produção e necessidade de redução de custos, com o primeiro caso ocorrendo em situações de alto consumo e o segundo caso ocorrendo em épocas de baixo consumo. Essas inovações ocorrem tanto nos produtos como nos processos de produção, permitindo tanto criar mercados totalmente novos, quanto substituir produtos já existentes.

Existem dois tipos diferentes de inovação nos setores industriais. A inovação evolutiva, que ocorre quando o fluxograma do processo de produção não é alterado, e a inovação revolucionária, quando novas técnicas (ou processos) são inseridos, causando grandes mudanças, seja na redução dos custos ou no aumento da produção. Como exemplos na indústria siderúrgica, é possível citar o uso da chamada “ultra-alta potência” no forno elétrico como inovação evolutiva, e o processo LD a oxigênio como inovação revolucionária. Esses chamados processos revolucionários se mantêm no topo por certo período de tempo, até que outro processo seja introduzido ou que um processo convencional sofra uma inovação evolutiva que o coloque novamente no topo da produção. [5]

### **1.5.1. Novos Processos na Indústria Siderúrgica**

A indústria siderúrgica passou por inúmeras mudanças, como mostrado anteriormente, gerando novos processos, ou introduzindo melhorias nos processos já existentes; em ambos os casos, provocando impactos positivos no setor. Podemos citar: automatização do alto-forno, o lingotamento contínuo, a elaboração do aço líquido, linhas de recozimento contínuo, novos sistemas de controle, o lingotamento de placas finas e o lingotamento de tiras. [5]

O lingotamento contínuo, processo onde o metal líquido é solidificado na forma de tarugo, bloco ou placa, um produto semiacabado, já é presente em toda usina implantada nos últimos 40 anos. Este processo melhorou o rendimento da indústria siderúrgica e, mesmo em usinas mais antigas, tem substituído quase todas as lingoteiras. Um esquema deste processo é representado na figura 3, a seguir. [10]

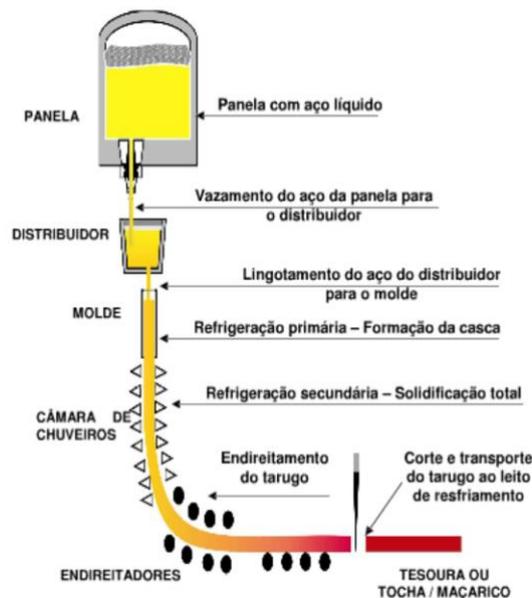


Figura 3 - Máquina de Lingotamento Contínuo [10]

A produção de aço líquido, tanto pela aciaria elétrica quanto pela via a oxigênio foi muito benéfica para a indústria nas últimas décadas, economizando energia e aumentando a produtividade dos processos, além de tornar possível a fabricação de mais tipos de aço. De maneira geral, a aciaria a oxigênio é mais vantajosa para a fabricação de aços ao carbono comuns, enquanto a aciaria elétrica possui maiores vantagens para a produção da grande maioria dos aços especiais, além dos aços inoxidáveis, geralmente produzidos em menores quantidades.

Além de melhorias nos processos, também cresceu o controle sobre os mesmos, diminuindo a possibilidade de erros, aumentando a eficiência das operações, como a fusão, lingotamento, recozimento e as laminações a quente e a frio. Como exemplo de maior controle dos processos, é possível citar linhas de recozimento contínuo que, ao serem utilizadas com modelagem computacional, permitem ser feitos rápidos ajustes ou pequenas mudanças no processo. Com isso, pode-se alterar a temperatura do forno ou a velocidade do processo com grande precisão, sendo possível o recozimento de diferentes produtos de forma seguida, gerando maior rapidez e, por consequência, reduzindo custos. Além disso, também estão sendo desenvolvidos sistemas de controle para a caracterização de materiais de forma contínua, para que possam ser feitos ajustes para o controle das

operações, baseados em seus parâmetros, como suas propriedades mecânicas e o tamanho de grão para detecção de falhas, por exemplo. [5]

Há um novo processo que tem se destacado positivamente na indústria siderúrgica: O lingotamento de placas finas. O lingotamento convencional produz placas com espessuras de 20 a 25cm, precisando de tempos maiores para se chegar ao produto final, já que necessitam ser reaquecidas e laminadas. Esse novo processo, para o lingotamento de aços carbono, é capaz de fabricar uma placa bem menos espessa do que no lingotamento convencional, com cerca de 5cm de espessura que é enviada diretamente para um laminador a quente, chegando a uma espessura de 3cm. Assim, o lingotamento de placas finas se mostra como nova opção, mais eficiente e mais barata. [5], [11]

Recentemente, no ano de 2016, nos Estados Unidos, pesquisadores do MIT fizeram uma descoberta inesperada. Ao tentar desenvolver um novo tipo de bateria líquida, acabaram desenvolvendo um novo processo que permitia produzir metais sem a necessidade de calor para a redução. Com esse novo processo, a produção de aço se tornaria mais barata, além de eliminar emissões de gases de efeito estufa. Esses pesquisadores descobriram esse novo processo com a utilização do antimônio, mas que funciona com outros metais, como o cobre, níquel e ouro. [12]

Ao tentar trabalhar com baterias líquidas de alta temperatura, ao invés de carregar a bateria, o sulfeto de antimônio se quebrou e esse antimônio se depositou no fundo, o que fez com que o enxofre saísse puro para a superfície. Além de produzir metais de altíssima pureza, é energeticamente mais eficiente e possui ganhos ambientais, onde o enxofre permanece puro e contido, o que evita formação de dióxido de enxofre, causa da chuva ácida. Além disso, é um processo mais eficiente quando comparado aos métodos de fusão usando calor, por ser um processo de etapa única e contínuo, fazendo com que sejam possíveis plantas siderúrgicas menores e mais baratas. [12]

### **1.5.2. Novos Produtos**

Da mesma forma que ocorreu essa evolução dos processos da indústria, uma nova e grande variedade de aços com diferentes propriedades dos aços tradicionais, foi introduzida no setor. Esses novos aços apresentam maior tenacidade, alta resistência mecânica e ótima resistência à corrosão, por exemplo. Esses novos materiais apareceram na indústria para exercer de melhor forma ou tão bem quanto, mas utilizando menos quantidade de material, quando comparados com os aços tradicionais. Cada vez mais, os

aços tem sido desenvolvidos em função dos pedidos dos clientes (“custom made”), dependendo da função que cada tipo de aço deverá exercer.

Um desses exemplos são os aços especiais, que contemplam os aços inoxidáveis e os aços elétricos, que possuem importantes propriedades como a resistência às altas temperaturas e à corrosão. Os aços inoxidáveis, que possuem alta porcentagem de cromo em sua composição (cerca de 12% ou mais), além de pequenas adições de outros elementos, englobam maior fatia desse mercado, acima de 80%. O consumo desses aços inox tem tido um crescimento contínuo nas últimas décadas, aumentando sua competitividade no mercado, frente aos aços ao carbono. A figura 4 ilustra alguns exemplos de peças fabricadas com a utilização de aços especiais.



*Figura 4 - Exemplos de peças que utilizam aços especiais [13]*

Outro exemplo são os aços revestidos, no qual se incluem todos os aços que sofrem processos de tratamentos superficiais que os recobrem com um depósito protetor. Como existe um grande número de tratamentos que modificam a superfície do material, abre-se um grande leque de variedade de produtos desse tipo, com novos processos de deposição desenvolvidos. Esse recobrimento pode ocorrer por imersão ou por eletrodeposição. Um exemplo são os aços esmaltados que, por possuírem um revestimento, tem um enorme aumento em sua resistência à corrosão, sendo utilizados na indústria química e de eletrodomésticos. [5]

## **2. Processos de fabricação de aços**

### **2.1. Classificação das Usinas Siderúrgicas**

Existem dois tipos de classificação para as usinas siderúrgicas, dependendo de seu processo produtivo: Integradas e Semi-integradas. As usinas integradas operam todas as três fases básicas do processo: redução de óxidos metálicos, refino e laminação. Elas participam do processo produtivo completo e produzem aço.

As usinas semi-integradas operam apenas duas etapas do processo: refino e laminação. Essas usinas adquirem ferro gusa, sucata metálica ou ferro esponja de terceiros e apenas transformam esses materiais em aço nas aciarias elétricas, e depois executarem o processo de laminação.

Além desses dois tipos de usinas, ainda existe um terceiro tipo de usina: as não-integradas. Elas são responsáveis por apenas uma parte do processo produtivo, a redução ou a laminação. O caso da usina de redução tem como característica comum o emprego de carvão vegetal utilizado em altos-fornos para produção de ferro gusa. Já no caso da usina de laminação, há os chamados relaminadores, que adquirem placas, tarugos e material sucateado de usinas integradas ou semi-integradas para seu abastecimento. [14]

A escolha entre essas estruturas diferentes de usinas dependem de vários fatores, tanto técnicos quanto econômicos. Podemos citar a quantidade de combustível disponível, as propriedades desse combustível, o custo da energia elétrica no local, capacidade de produção, além da variedade e quantidade da sucata disponível. Quanto mais disponível a energia elétrica, maior e mais diversificado será o parque industrial do país, fazendo com que a disponibilidade de sucata seja maior. Assim, satisfeitas estas condições, os fornos elétricos conseguem ser mais atrativos.

### **2.2. Alto-Forno**

O alto-forno continua sendo o grande responsável pela maior parte da produção de ferro no mundo. Com o passar dos anos e com as inovações tecnológicas, houve um grande aumento da eficiência e produtividade do alto-forno, por vários motivos. Entre eles podemos citar: maior uso de sínter e pelotas; temperatura mais alta de sopros; uso de combustíveis mais eficientes, com plena automação das operações.

A fabricação do aço ocorre geralmente em duas etapas: primeiramente se obtém o ferro gusa, uma liga ferro-carbono com alto teor de carbono (próximo a 4,5%) e altos teores de impurezas, como enxofre e fósforo, e uma segunda etapa onde ocorre a conversão desse ferro gusa em aço. Essa primeira etapa, para obtenção do ferro gusa, ocorre no alto-forno, apesar de ser possível obter um material quimicamente semelhante por redução direta, com aspecto esponjoso.

No alto forno, o minério na forma de pelotas ou sinter é introduzido, transformado em ferro gusa líquido com um teor próximo de 95% de ferro, com teores elevados de alguns elementos, como carbono, silício e enxofre. O sopro de ar aquecido entre 1100 e 1350 °C é injetado na base de uma cuba, onde uma mistura de minério, carvão na forma de coque e fluxante é movimentada. A escória gerada é menos densa e, por isso, se localiza sobre o metal líquido, e é nessa interface entre o metal líquido e a escória que ocorre a migração de elementos químicos entre os dois. [5], [15]

O coque é queimado em CO e CO<sub>2</sub>, e o minério é reduzido. O fluxante é também adicionado no topo, normalmente sendo CaO e MgO, para que seja possível escorificar os demais óxidos na ganga do minério, além das cinzas do coque. Esse fluxante fluidifica o material, além de promover a dessulfuração. Enfim, o ferro gusa é vazado, juntamente com a escória, em local próximo ao cadinho do alto forno, em intervalos de tempo regulares. A alimentação do alto forno é feita por guindastes, e o ferro gusa resultante é retirado em carros torpedos por baixo do alto forno, sendo levados diretamente para a aciaria.

### **2.3. Aciaria LD**

O processo LD (Linz-Donawitz) se iniciou em meados do século XX, mas teve um grande desenvolvimento a partir dos anos 1960, sendo considerado relativamente recente. Nesse processo, utiliza-se oxigênio injetado por uma lança, que oxida quase todo carbono em monóxido de carbono, que entra em contato com o ar e queima, gerando dióxido de carbono. Após essa queima, a lança é retirada e a chama se apaga. O processo funciona para o refino do ferro gusa, com a redução dos teores de vários elementos presentes, como carbono, silício, enxofre, fósforo e manganês, sendo a eliminação quase completa para o silício, manganês e fósforo.

No convertedor LD, uma de suas grandes vantagens é o fato de que todo calor necessário é carregado pela carga e por suas reações de combustão, ou seja, ele não

precisa do uso de combustível. No Brasil, os primeiros convertedores LD apareceram no final da década de 1950, em Minas Gerais, na Belgo-Mineira, e em seguida outros na Usiminas (em Ipatinga), na Mannesmann (em Belo Horizonte), no início da década de 1960.

A sucata tem papel fundamental no processo: além de fornecer ferro, ela é essencial para o controle de temperatura do aço, fora seu papel de material refrigerante. Normalmente é necessário adquirir sucata externa, pois o volume de sucata de retorno na usina é inferior ao próprio consumo necessário, principalmente se a usina possui lingotamento contínuo. As usinas integradas possuem o convertedor LD como sua característica. Assim, pode-se perceber como esse processo resultou em grande desenvolvimento para a indústria, refletindo em uma ampliação dos diferentes tipos de aço produzidos. O local do LD no fluxo pode ser visto na figura 5, a seguir.

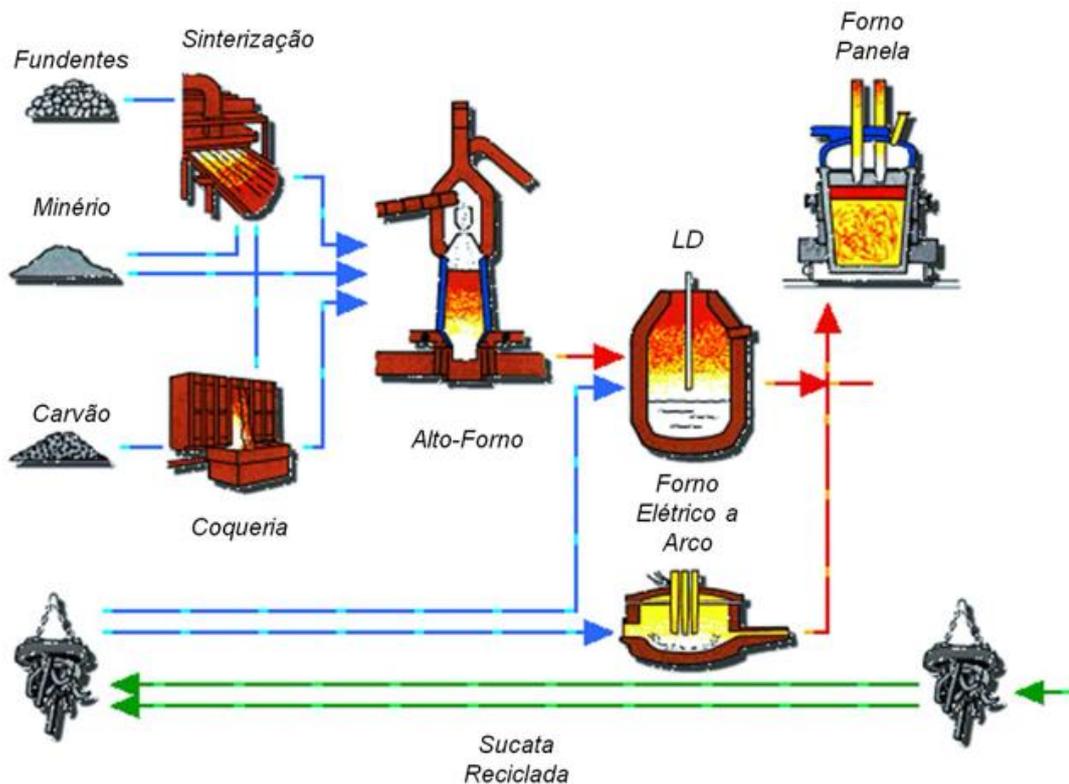


Figura 5 - Fluxo do processo siderúrgico [16]

## 2.4. Matérias-primas em usinas integradas

Essas usinas utilizam o alto-forno para a redução do minério de ferro, que geralmente se apresenta como sinter ou pelotas. A sinterização é um método de aglomeração de finos de minério de ferro, além de outras matérias-primas para serem consumidas no alto-forno. Ela ocorre ao se fazer uma mistura de matérias-primas com um pouco de umidade e um certo teor de combustíveis, e sujeitar essa mistura a um aumento de temperatura até uma semifusão, entre 1200 e 1400°C. Já a pelletização é conhecida como um processo de aglomeração de materiais ultrafinos, para a mesma finalidade. A grande diferença entre o sinter e a pelota é a distribuição granulométrica ideal para seu uso: a sinterização é ideal na faixa de 6 a 0,15 mm, e a pelletização é ideal para uma faixa de tamanhos entre 0,2 e 0,01mm. [4]

As outras duas matérias-primas importantes são os fundentes e o carvão mineral coqueificável ou carvão vegetal. Os fundentes são utilizados para reagir com os constituintes indesejáveis dentro da carga do forno, onde formam compostos estáveis que irão se separar do banho metálico e formar a escória. [17]

## 2.5. Aciaria Elétrica

No início século passado, já se utilizavam fornos elétricos a arco (FEA) para fabricar aços, mas apenas depois da Segunda Guerra Mundial, o desenvolvimento do processo teve seu maior crescimento. No início, tendo sido visto como um reator para produção de aços especiais ou aços inoxidáveis, por ser possível controlar a composição química e temperatura do metal com grande precisão, o forno elétrico tem sido utilizado para a produção de aço carbono. Na década de 1970, foi visto um maior aumento da capacidade das aciarias elétricas, e por consequência, uma diminuição da parcela dos convertedores LD na produção. Isso se deu pelo fato de, com a menor disponibilidade do coque metalúrgico para fabricar o ferro-gusa, além do aumento da sucata disponível, essa diminuição se tornou inevitável.

Além disso, podemos também enfatizar o declínio dos convertedores LD, principalmente para países mais desenvolvidos, sendo substituídos pelos fornos elétricos a arco, pela energia elétrica disponível (tanto em quantidade, quanto em preço), além de restrições ambientais e a qualidade final dos produtos resultantes de ambos os processos. Esse declínio é ilustrado pela tabela 1, mostrada a seguir. As matérias-primas utilizadas

em fornos elétricos para a fabricação de aços são a sucata, gusa sólido e fundentes. A sucata utilizada precisa ser estocada e separada pela composição química. Essa forma de processamento é a característica das usinas semi-integradas. O processo em si, é simples: o arco elétrico gera a calor, e age para fundir a sucata selecionada, enquanto a carga metálica é depositada no fundo do cadinho. O refino ocorre de maneira semelhante ao que ocorre no processo LD, porém com um tempo maior. [18]

Embora exista uma maior produção de aço vindo da aciaria LD, a produção proveniente da aciaria elétrica vem crescendo e apresenta algumas vantagens competitivas em comparação ao processo das usinas integradas. Esse crescimento é mostrado na tabela 1. Em primeiro lugar, as usinas com forno elétrico exigem menor investimento para sua instalação, favorecendo sua implementação, assim como podem ser instaladas próximas de centros urbanos, por serem mais compactas. Outro grande ponto positivo é que, dando prioridade à reciclagem de sucata, esse tipo de usina se mostra menos agressiva ao meio ambiente, além de possuir uma grande flexibilidade na utilização de matérias-primas disponíveis.

*Tabela 1 - Evolução da rota de produção de aço na Europa e EUA [19]*

| PROCESSOS      | 1900 |        | 1932 |        | 1960 |        | 1980 |        | 2007 |        |
|----------------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|------|--------|
|                | EUA  | EUROPA |
| SIEMENS MARTIM | 33   | 80     | 88   | NA     | 87   | 43     | 12   | 3      | 0    | 0      |
| BESSEMER       | 67   | 20     | 12   | NA     | 2    | 34     | 0    | 0      | 0    | 0      |
| LD/BOF         | 0    | 0      | 0    | 0      | 3    | 12     | 60   | 73     | 41   | 60     |
| ELÉTRICO       | 0    | 0      | 0    | 0      | 8    | 11     | 28   | 24     | 59   | 40     |

Por isso, são considerados dois fatores importantes para a popularidade dos fornos elétricos. O primeiro deles é que há uma preferência pela criação de usinas menores, com capacidade limitada, para utilizar a sucata disponível no local, sendo fábricas mais simples e flexíveis de operar. O segundo fator é que o forno elétrico se torna bastante atraente quando combinado com o processo de redução direta, que utiliza óleo e gás natural. O ferro-esponja resultante da redução direta é comumente adicionado junto à carga de sucata ao banho, em uma proporção próxima de 25% de ferro-esponja, para manter a temperatura do banho controlada.

Assim, já existe uma tendência entre países desenvolvidos para o uso de usinas semi-integradas, tanto pelo fator econômico quanto pelo fator ambiental, o que inclui países como o Brasil, de industrialização mais recente. Com o passar do tempo e quanto mais maduro e industrializado é um país, maior a quantidade disponível de materiais para a

reciclagem, sendo a sucata abundante um fator importante para a maior utilização de fornos elétricos. Como é possível perceber na tabela 1, a tendência nos mostra o crescimento do processo com forno elétrico a arco e a diminuição do uso dos fornos LD.

## 3. Sucatas Ferrosas

### 3.1. Geração da Sucata

A geração de sucatas ferrosas se dá por duas principais vias: durante a fabricação do aço pelas usinas siderúrgicas, assim como em processos de fabricação de outros produtos contendo aço; também ocorre a geração de sucata pelo descarte de bens pela sociedade após seu consumo. Após ser coletada e beneficiada para ser reaproveitada, essa sucata é comercializada, podendo ser classificada, dependendo de sua origem. A sucata industrial (ou de processo), tem origem nas metalúrgicas, fundições e outras indústrias de transformação, e se caracterizam por uma alta qualidade e baixa quantidade de contaminantes; a sucata de geração interna (ou doméstica), é o aço sucateado na própria usina siderúrgica, sendo normalmente utilizada novamente no forno. Existe também a sucata de obsolescência (ou velha), caracterizada por ser advinda de bens de consumo descartados ou de aços obsoletos pelo uso.

Nos últimos 40 anos, aproximadamente, houve a diminuição da sucata ferrosa de geração interna, pela introdução de numerosas inovações (lingotamento contínuo, por exemplo) e por esse setor na indústria brasileira ser exportador de produtos semiacabados. Essas inovações estão permanentemente sendo atualizadas e inseridas, mas na década de 1990 que realmente houve uma aceleração. No Brasil, a crise de 2008, que afetou a economia mundial, causou uma diminuição da produção a partir de 2009, mas após 2010 houve uma tendência de crescimento alto na indústria, que pode ser mostrado na figura 6, a seguir. Esse crescimento se manteve até o ano de 2015, quando houve uma nova baixa do setor, como será mostrado posteriormente. [18]

Em um dado país, um importante fator de desenvolvimento do setor siderúrgico, assim como da produção de aço em si, é a geração da sucata industrial, diferenciadas na figura 6. Quanto menor o nível de sucata interna, e maior o uso da sucata de obsolescência, maior será o uso de aço do país e maior será a oferta de sucata. Isso faz com que o preço para a produção de aço seja menor. No Brasil, é possível ver uma boa perspectiva de geração de sucata de obsolescência em função, principalmente, do setor automobilístico, além de outros setores como de informática e eletrodomésticos, que têm se difundido cada vez mais no país. [18]

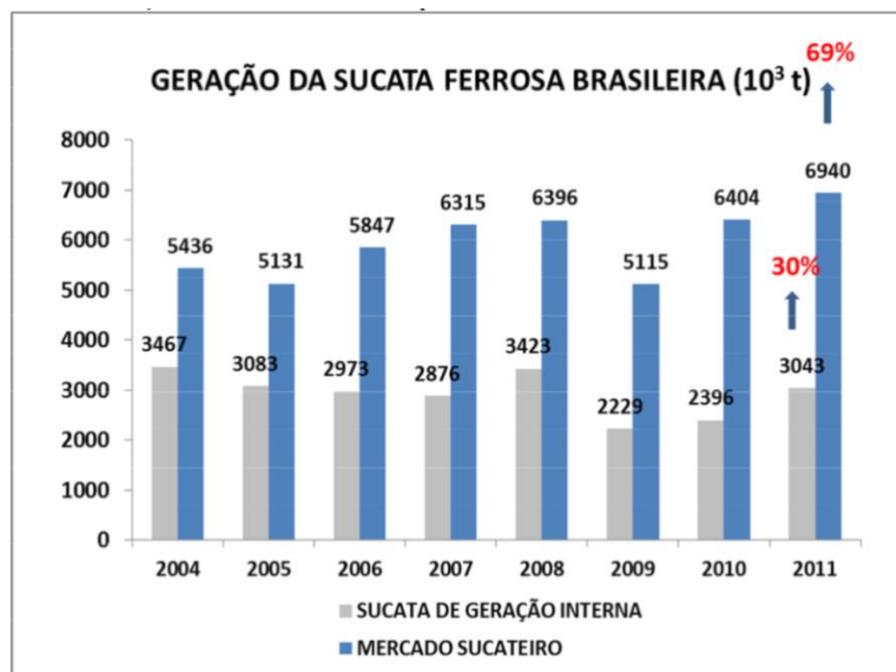


Figura 6 - Geração de sucata ferrosa no Brasil no período de 2004 a 2011 ( $t=1000\text{kg}$ ) [18]

### 3.2. Processamento da Sucata

As sucatas ferrosas possuem diversas procedências, e são classificadas de acordo com seu formato, composição química, além da necessidade de industrialização. Para que essas sucatas se adequem e possam ser utilizadas nos fornos, é preciso que elas sejam industrializadas no pátio. Isso ocorre por três importantes motivos: para reduzir as impurezas da sucata, gerando um melhor desempenho do forno e para que o produto seja viabilizado; para adequar os contaminantes, controlando os teores dos elementos químicos para que não exista efeito na composição química, que pode ser prejudicial ao aço produzido; permite aumentar a densidade da sucata.

O processamento da sucata ferrosa ocorre com elevada automação, utilizando equipamentos voltados para alta produção, como prensas-tesoura e trituradores, além de equipamentos de seleção e limpeza. O triturador do tipo Shredder é o principal equipamento para o processamento de sucata ferrosa atualmente, sendo um sistema composto de uma alimentação, uma etapa de trituração e uma área de limpeza do material triturado; dispõe de separador magnético e permite catação, empilhamento e pesagem, retirada de poeira e separação de não ferrosos, para a separação da sucata limpa e seus resíduos. A instalação de um Shredder traz algumas vantagens: além de fazer com que os custos na produção de tarugos utilizados nas laminações sejam reduzidos, diminui o

impacto ambiental, por gerar resíduos menos agressivos, e diminui a dependência da indústria do ferro gusa da indústria. [18]

Esse sistema vem sendo muito utilizado na Europa, Estados Unidos e Canadá, e no Brasil é usado em siderúrgicas onde o Shredder prepara a sucata para ser utilizada no processo de produção do aço. A indústria brasileira de sucata é pouco capitalizada, e se responsabiliza basicamente pela coleta, sendo o processamento e beneficiamento pouco realizado. Assim, os grandes consumidores de sucata acabam criando as próprias redes de fornecimento para atuar no beneficiamento e processamento da mesma, o que garante o necessário para suprir a indústria siderúrgica.

### 3.3. Mercado de Sucatas no País

O mercado de sucata ferrosa no Brasil se separa entre a siderurgia e para a fundição; a siderurgia concentra a maior utilização dessa matéria-prima. O Brasil ainda é um mercado que pode ser muito ampliado no uso da sucata, quando comparado aos países mais desenvolvidos. No ano de 2011, a porcentagem mundial de sucata utilizada para se produzir o aço foi de 37%, enquanto no Brasil a mesma porcentagem de utilização foi igual a 31%, tal como mostrado nas duas figuras a seguir. [18]

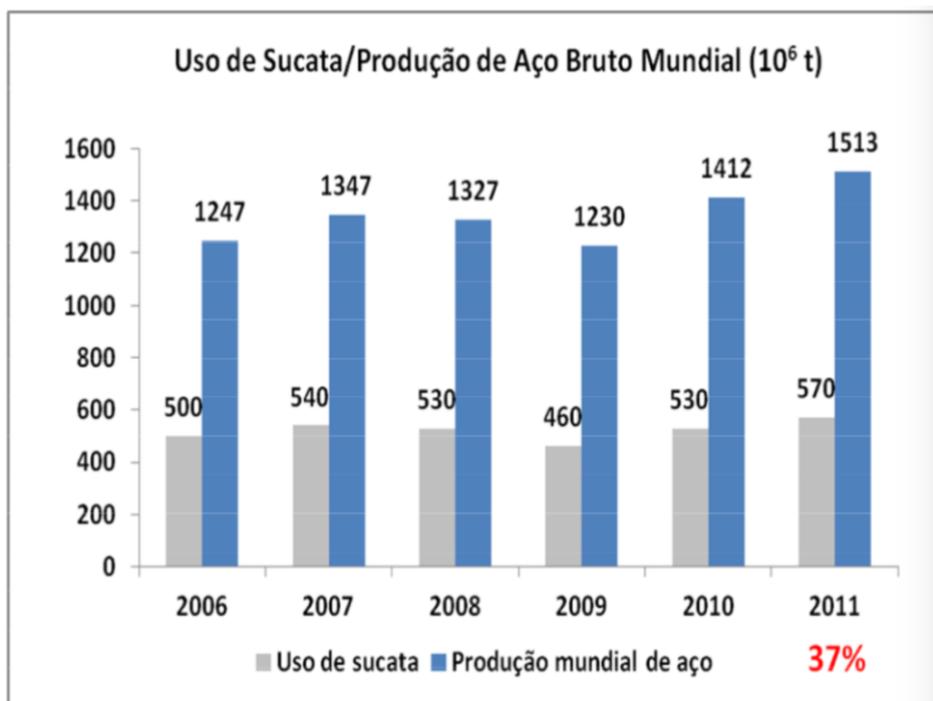


Figura 7 - Uso de sucata ferrosa na produção mundial de aço bruto (t=1000kg) [18]

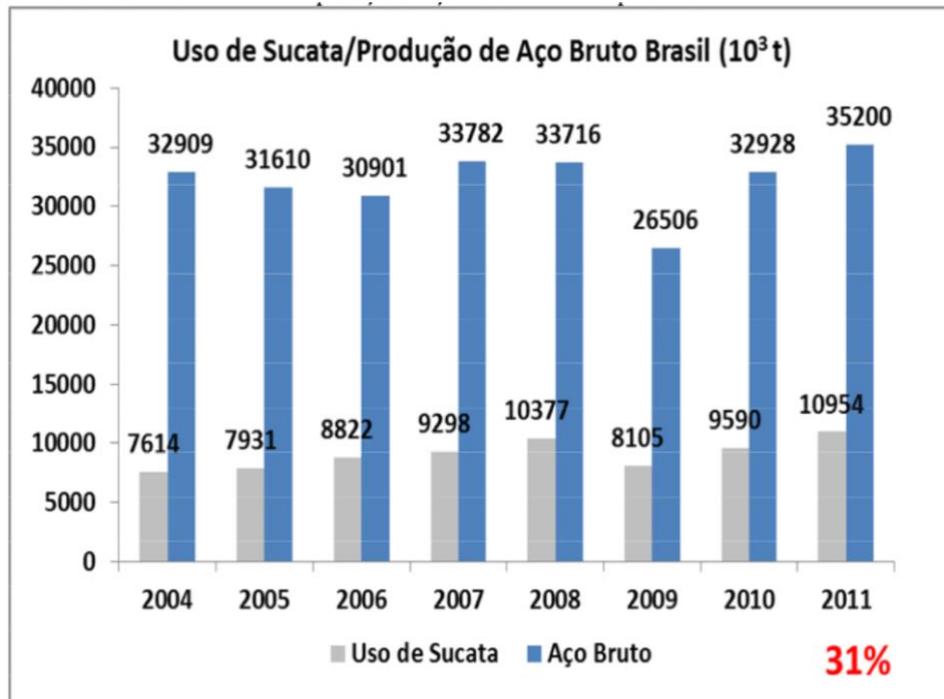


Figura 8 - Uso de sucata ferrosa na produção de aço bruto no Brasil ( $t=1000kg$ ) [18]

No que se refere à exportação da sucata, o mercado no Brasil ainda é muito pequeno, quando comparado ao mercado com os países de maior expressão. No mesmo ano de 2016, a participação do Brasil nesse mercado era de 0,70%, onde os Estados Unidos lideravam de longe com cerca de 15,18%, seguido pelo Japão e Alemanha, com, respectivamente, 9,99% e 9,37%; isto mostra um grande potencial nessa fatia do mercado para o país, como mostrado na figura 9. Da mesma forma, no mercado de importação de sucata, o Brasil apareceu com uma parcela menor ainda, com 0,04%, muito longe da líder Turquia, com 20,24%, seguida de Índia e Coréia do Sul, com 7,29% e 6,68%, como mostrado na figura 10. Apesar de baixo, esse valor é um dado positivo, que demonstra uma autossuficiência da sucata como matéria-prima para a produção de aço. [18], [20]

De forma geral, a demanda de sucata ferrosa é muito concentrada em poucas siderúrgicas no país, o que faz com que as empresas interessadas forcem certa baixa nos preços da sucata ferrosa comercializada. Caso exista uma definição de preços em comparação com os preços praticados internacionalmente, o setor sucateiro nacional possuirá grandes vantagens. Isso ocorre porque, quando comparados os preços de venda no Brasil e os de compra no mercado internacional, as empresas ofertantes entenderão o

quanto pode ser vantajoso uma regulação de preços. A regulação do setor é de extrema importância quando se pensa no futuro desse mercado no país. [18]

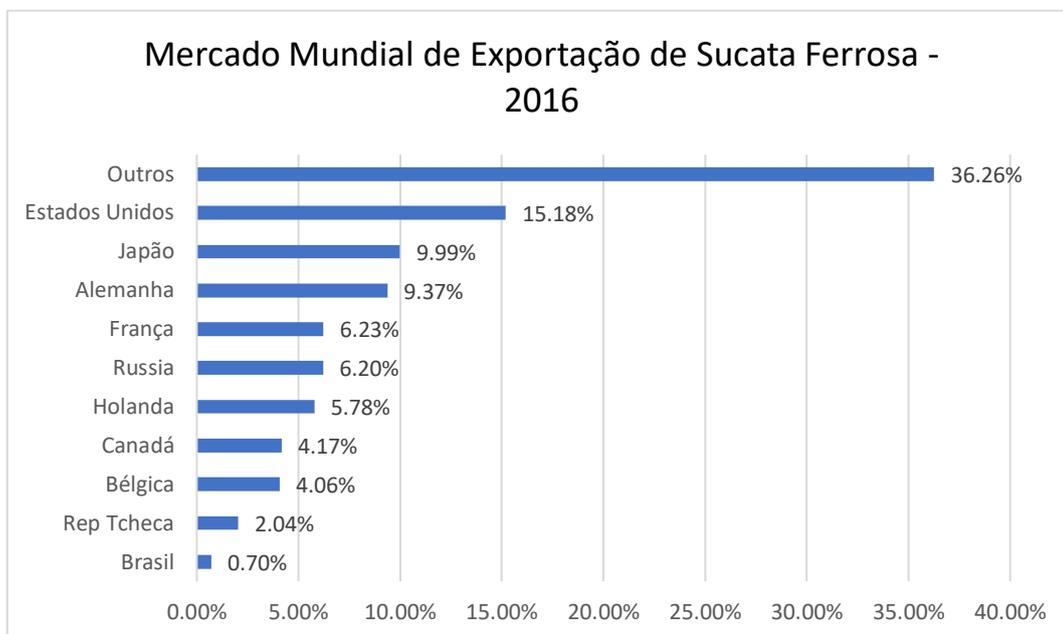


Figura 9 - Mercado de exportação de sucata (2016). Adaptada pelo autor. [20]

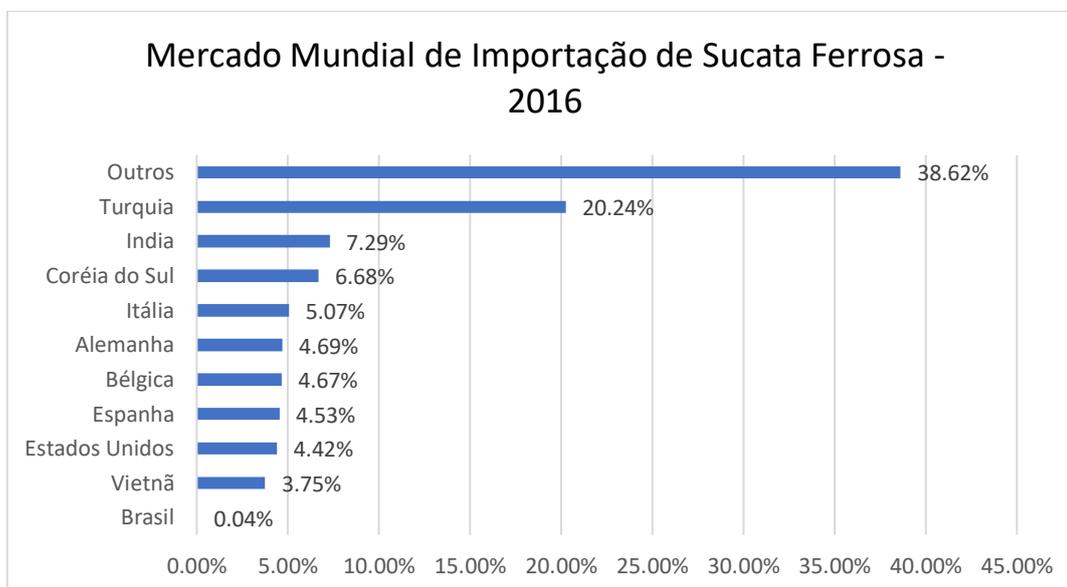


Figura 10 - Mercado de Importação de sucata (2016). Adaptada pelo autor. [20]

## 4. Mercado Siderúrgico

### 4.1. Produção Siderúrgica e Mercado Brasileiro

A partir de 1993, com a privatização de numerosas empresas no país, houve um aumento expressivo do fluxo de capitais no setor siderúrgico. Por isso, muitas das empresas produtoras começaram a ser integradas a outros grupos industriais, onde os interesses deixaram de ser apenas a siderurgia, mas também outras atividades relacionadas, com o intuito de se aumentar a competitividade e se chegar a uma economia de escala. Atualmente, a indústria brasileira do aço é operada por trinta e uma usinas, distribuídas em dez estados, usinas essas que são representadas por quatorze empresas privadas, controladas por onze grupos empresariais. Esse parque siderúrgico deixa o Brasil na oitava posição da produção mundial de aços (dado de 2016). As usinas do parque siderúrgico brasileiro são listadas na tabela 2. [9]

Hoje, o Brasil possui o maior parque industrial de aço da América do Sul e é o maior produtor de aço da América Latina, fazendo com que, embora seja o oitavo maior produtor de aço do mundo, se constitui em um dos maiores exportadores mundiais de aço, tendo ocupado a quinta posição no ano de 2015. Dessa forma, a mercado siderúrgico mostra uma grande importância para a economia do país, gerando mais de 140 mil empregos diretos e exportando para mais de 100 países. A produção no Brasil pode ser mostrada na figura 11, a seguir. [21]

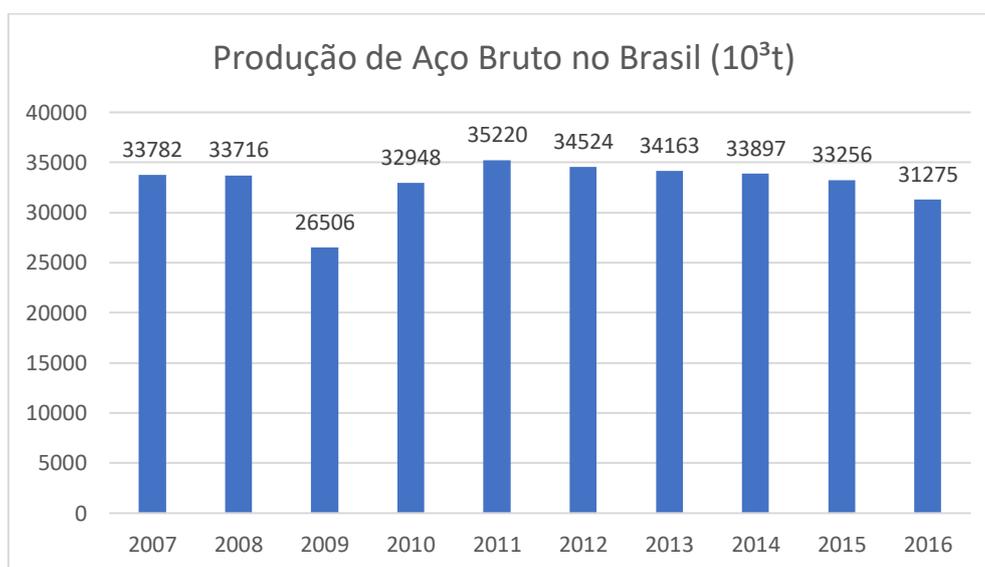


Figura 11 - Produção de Aço no Brasil. Adaptada pelo autor. (t=1000kg) [9]

Tabela 2 - Parque Siderúrgico Brasileiro por estado. [9]

|                   |   |
|-------------------|---|
| BAHIA             | Gerdau Aços Longos (Usina Usiba)  |
| CEARÁ             | Gerdau Aços Longos (Usina Cearense)<br>Companhia Siderúrgica do Pecém   |
| ESPÍRITO SANTO    | ArcelorMittal Aços Longos (Cariacica)<br>ArcelorMittal Aços Longos (Tubarão)  |
| MINAS GERAIS      | Aperam South American<br>Gerdau Aços Longos e Planos (Usina Ouro Branco)<br>ArcelorMittal Aços Longos (Monlevade)<br>ArcelorMittal Aços Longos (Juiz de Fora)<br>Gerdau Aços Longos (Usina Barão de Cocais)<br>Gerdau Aços Longos (Usina Divinópolis)<br>Grupo Usiminas (Ipatinga)<br>Vallourec Soluções Tubulares do Brasil (Usina Barreiro)<br>Vallourec Soluções Tubulares do Brasil (Usina Jeceaba) |
| PARÁ              | Sinobras  |
| PARANÁ            | Gerdau Aços Longos (Usina Guaíra)   |
| PERNAMBUCO        | Gerdau Aços Longos (Usina Açonorte)   |
| RIO DE JANEIRO    | Votorantim Siderurgia (Barra Mansa)<br>Votorantim Siderurgia (Resende)<br>Gerdau Aços Longos (Usina Santa Cruz)<br>Ternium<br>CSN   |
| RIO GRANDE DO SUL | Gerdau Aços Especiais (Usina Charqueadas)<br>Gerdau Aços Longos (Usina Riograndense)  |
| SÃO PAULO         | Gerdau Aços Especiais (Usina Pindamonhangaba)<br>Gerdau Aços Especiais (Usina Mogi das Cruzes)<br>ArcelorMittal Aços Longos (Piracicaba)<br>Usiminas (Cubatão)<br>Gerdau Aços Longos (Usina São Paulo)<br>Gerdau Aços Longos (Usina Araçariçuama)<br>Villares Metals  |

Informações do Instituto Aço Brasil nos mostram que, desde 2009, em 2011 o país atingiu o maior patamar dos últimos dez anos, tendo um bom crescimento quando se olha para a produção do ano anterior. Esse patamar de produção se manteve razoavelmente no mesmo nível até 2014, ano da Copa do Mundo de Futebol no Brasil, quando existia uma alta demanda para o aço no país. Após 2014, seguiram dois anos de queda na produção

(como mostra a figura 11), impactada pela crise econômica e política brasileira. No ano de 2017 ocorreu um novo crescimento da produção para próximo dos níveis anteriores a 2015, fazendo com que a tendência do setor seja de voltar a crescer, tanto para consumo interno, quanto para exportação, em função de um possível reaquecimento da economia brasileira. [9]

#### **4.2. Produção e Mercado Internacional**

Os aços constituem uma família de produtos mais utilizados mundialmente nas demais indústrias. Entre 1980 e 2000, a exportação mundial de produtos laminados dobrou, para cerca de 280 milhões de toneladas. Esse número equivalia a cerca de 37% de toda a produção mundial. Em 1992, o Brasil atingiu cerca de 6% de participação nas exportações, onde vem caindo desde então, chegando a 3,15% em 2000. Nesse início do século, já se retratava a ameaça que os países asiáticos, principalmente a China, ofereciam ao mercado exportador brasileiro, pois sua produção conseguia manter preços muito competitivos. [7]

Atualmente, o grande domínio na produção mundial do aço se dá pelos países asiáticos, principalmente China e Japão, os dois maiores produtores (dados de 2015), e a Índia, com crescimento econômico bastante acelerado, já sendo considerada um grande centro de produção de aço. A crescente demanda mundial na indústria é gerada especialmente por obras de infraestrutura e projetos imobiliários em países em desenvolvimento. Apesar de ainda se manter entre os maiores, os Estados Unidos são vistos em quarto lugar entre os maiores produtores de aço do mundo, como mostra a tabela 3. [22]

Tabela 3 - Classificação dos maiores produtores de aço do mundo em 2014-2015 (t=1000kg) [22]

| PAÍS           | 2015    |                   | 2014    |                   |
|----------------|---------|-------------------|---------|-------------------|
|                | Posição | 10 <sup>6</sup> t | Posição | 10 <sup>6</sup> t |
| CHINA          | 1       | 803,8             | 1       | 822,8             |
| JAPÃO          | 2       | 105,2             | 2       | 110,7             |
| ÍNDIA          | 3       | 89,4              | 4       | 87,3              |
| ESTADOS UNIDOS | 4       | 78,8              | 3       | 88,2              |
| RUSSIA         | 5       | 70,9              | 6       | 71,5              |
| CORÉIA DO SUL  | 6       | 69,7              | 5       | 71,5              |
| ALEMANHA       | 7       | 42,7              | 7       | 42,9              |
| BRASIL         | 8       | 33,3              | 9       | 33,9              |
| TURQUIA        | 9       | 31,5              | 8       | 34,0              |
| UCRÂNIA        | 10      | 23,0              | 10      | 27,2              |

O crescimento mais significativo do setor foi observado entre os anos de 1960 e 1974, quando o consumo do aço no mundo duplicou. A indústria siderúrgica cresceu a uma taxa de 5,5% naquele período. Depois, houve uma desaceleração até meados da década de 1980, quando se iniciaria um movimento ascendente no início dos anos 1990. A indústria siderúrgica possui potencial para crescer a um ritmo acelerado, em função da continuidade dos projetos de desenvolvimento, principalmente nos países de industrialização recente.

Na década de 1990, a China já havia ultrapassado o Japão como maior produtor de aço do mundo, tendo seu crescimento bastante relacionado com o grande desenvolvimento da região asiática, como nas indústrias de transportes terrestres, construção civil e eletroeletrônicos. [5]

Desde o início do século XXI, China e Índia despontaram como potências na produção siderúrgica. No ano de 2004, a China já aparecia como primeira colocada na produção mundial, com 272.5 milhões de toneladas, enquanto a Índia já aparecia entre os dez maiores, chegando ao posto de terceiro maior produtor de aço em 2015. A produção de aço bruto entre 2007 e 2016 no mundo pode ser vista na figura 12, com um grande aumento na produção, principalmente após 2009.

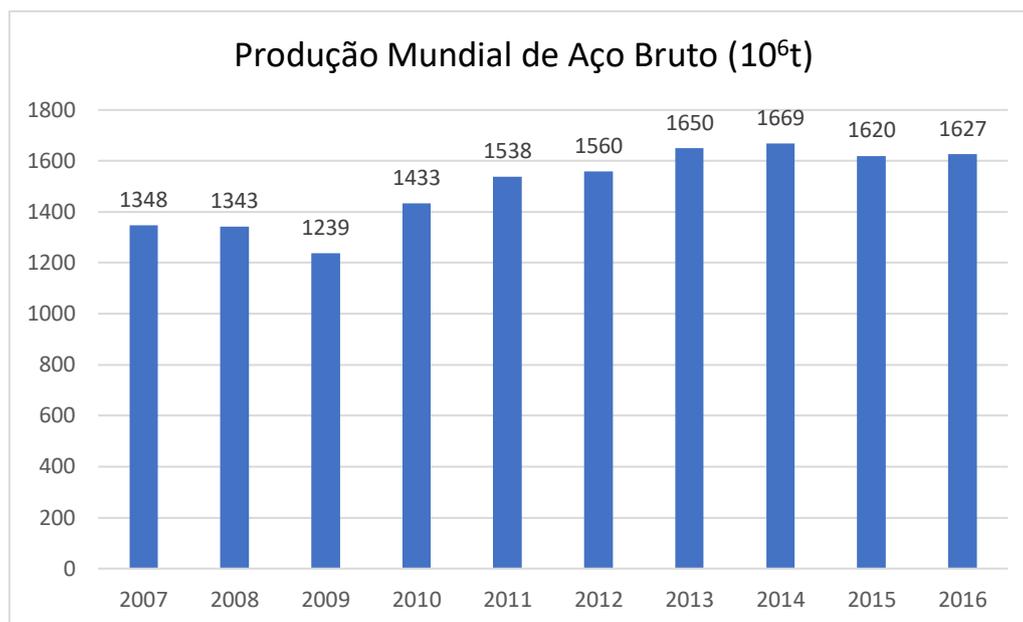


Figura 12 - Produção de Aço Bruto Mundial, 2007-2016. Adaptada pelo autor ( $t=1000kg$ ) [20]

Em função do rápido desenvolvimento de países com industrialização recente (NICs), como alguns asiáticos, que possuem custos menores de produção e conseguem suprir sua demanda interna e ainda exportar grande parte da produção, a indústria siderúrgica europeia e a norte-americana, começaram a mostrar uma tendência de construir usinas menores, voltadas para produção de aços especiais. Assim, a indústria europeia se ajustou às necessidades do consumo para conseguir concorrer em preço com esses países emergentes. [5]

Entre 2004 e 2015, a China quase triplicou sua produção anual, enquanto a Índia continuou crescendo, saindo de 32.6 milhões de toneladas em 2004 para 89.4 milhões, atual terceira maior produção anual. Um aspecto bastante claro sobre o crescimento da Índia se dá por aquisições de outras empresas, como a união da Arcelor com a Mittal Steel, formando a ArcelorMittal, maior produtora de aço do mundo, e a aquisição da Corus (quinta maior produtora mundial) pela Tata Steel of India, fazendo com que se posicionem como duas das grandes produtoras de aço do mundo, como mostrado na tabela 4. [13], [22]

Tabela 4 - Classificação das maiores empresas produtoras de aço em 2015. (t=1000kg) [22]

| Posição | Empresa               | 10 <sup>6</sup> t | Posição | Empresa              | 10 <sup>6</sup> t |
|---------|-----------------------|-------------------|---------|----------------------|-------------------|
| 1       | ArcelorMittal         | 97,14             | 11      | Wuhan Steel Group    | 25,78             |
| 2       | Hesteel Group         | 47,75             | 12      | Shandong Steel Group | 21,69             |
| 3       | NSSMC                 | 46,37             | 13      | Hyundai Steel        | 20,48             |
| 4       | POSCO                 | 41,97             | 14      | Nucor Corporation    | 19,62             |
| 5       | Baosteel Group        | 34,94             | 15      | Maanshan Steel       | 18,82             |
| 6       | Shanang Group         | 34,21             | 16      | Thyssenkrupp         | 17,34             |
| 7       | Ansteel Group         | 32,50             | 17      | Gerdau               | 17,03             |
| 8       | JFE Steel Corporation | 29,83             | 18      | Tianjin Bohal Steel  | 16,27             |
| 9       | Shougang Group        | 28,55             | 19      | NLMK                 | 16,05             |
| 10      | Tata Steel Group      | 26,31             | 20      | Jianlong Group       | 15,14             |

Analisando a produção mundial de aço bruto no mundo, no período entre 2007 a 2016, como mostrado na figura 12, e comparando com a produção de aço bruto no Brasil, é possível destacar dois momentos nesse mesmo período de tempo: em 2009, quando houve uma crise mundial, tanto a indústria nacional quanto a indústria mundial tiveram uma queda na produção de aço, com o Brasil tendo uma queda mais acentuada; nos anos de 2015 e principalmente 2016, quando o mercado brasileiro teve uma nova queda, em função da citada crise econômica e política no país.

Para a comparação do mercado nacional e mundial, vemos a figura 13, a seguir. Nela, quanto menor a porcentagem, menor a produção brasileira frente à produção global de aço bruto. Assim, fica mais claro o que foi explicado acima: níveis muito baixos de participação nos momentos de crise econômica, próximo de 2% e, em 2016, sendo ainda menor que 2%. [20]

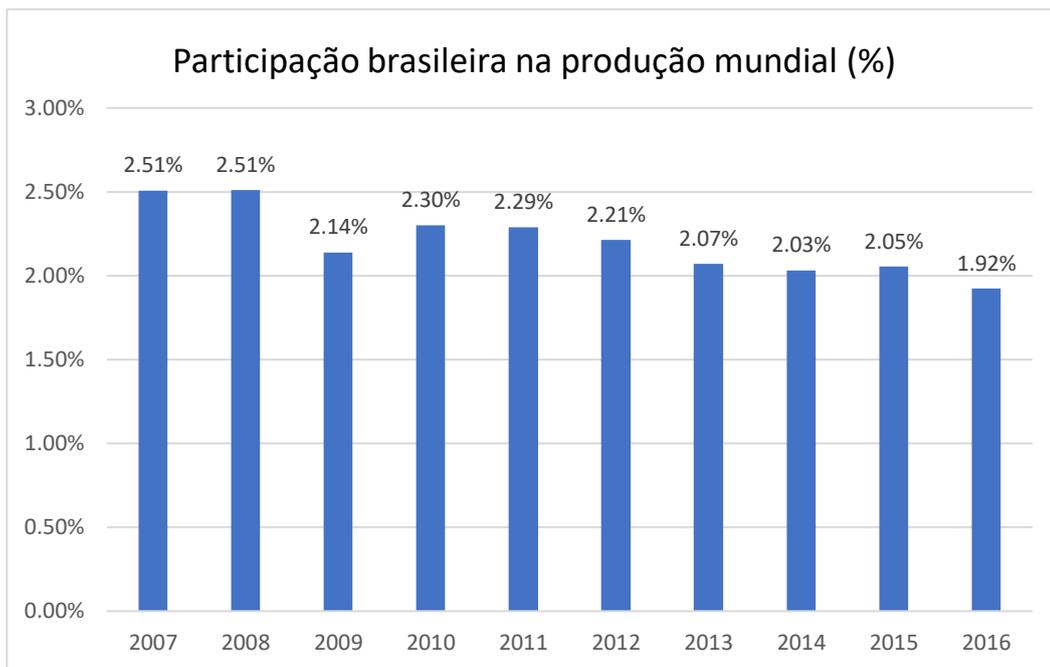


Figura 13 - Participação brasileira na produção mundial. Adaptada pelo autor. [20]

#### 4.3. Faturamento da Indústria e Evolução da produção no Brasil

Em 2007, a produção brasileira de aço teve um faturamento bruto de 61,46 milhões de reais, com cerca de 80% (48,1 milhões de reais) vindos do mercado interno. Ao se comparar com o ano anterior, esse faturamento teve um aumento nominal de 27%, o qual se mostra bastante significativo com a quantidade comercializada. As vendas físicas subiram de 17,5 milhões de toneladas em 2006 para 20,5 milhões de toneladas em 2007 para o mercado interno (cerca de 17% a mais), enquanto caíram de 12,5 milhões de toneladas em 2006 para 10,3 milhões de toneladas em 2007 para o mercado externo. [19]

A tabela 5 mostra essa evolução das vendas internas no período assinalado, entre 2000 e 2007. Nesse período, o crescimento físico foi de 37,5% e as exportações tiveram aumento de apenas 7,5%. Essa diferença sugere que os produtos vendidos no mercado interno possuem maior valor agregado, e por isso maiores valores médios, enquanto os produtos vendidos no mercado externo são menos elaborados, como aços semiacabados, que possuem menores valores médios. [19]

Tabela 5 - Faturamento da Indústria de Aço entre os anos de 2000 e 2007. [19]

| ANO  | MERCADO INTERNO      |                        |                                |                | MERCADO EXTERNO      |                        |                                |                |
|------|----------------------|------------------------|--------------------------------|----------------|----------------------|------------------------|--------------------------------|----------------|
|      | Quantidade<br>1000 t | US\$ milhão<br>nominal | US\$ milhão<br>constante(2007) | US\$ /t (2007) | Quantidade<br>1000 t | US\$ milhão<br>nominal | US\$ milhão<br>constante(2007) | US\$ /t (2007) |
| 2000 | 14.938               | 7.225                  | 8.705                          | 582,7          | 9.599                | 2.717                  | 3.273                          | 341,0          |
| 2001 | 15.692               | 6.451                  | 7.554                          | 481,4          | 9.291                | 2.282                  | 2.672                          | 287,6          |
| 2002 | 15.826               | 6.054                  | 6.983                          | 441,2          | 11.686               | 2.928                  | 3.377                          | 289,0          |
| 2003 | 15.408               | 7.591                  | 8.558                          | 555,4          | 12.985               | 3.860                  | 4.352                          | 335,1          |
| 2004 | 17.783               | 12.191                 | 13.382                         | 752,5          | 11.982               | 5.287                  | 5.804                          | 484,4          |
| 2005 | 16.061               | 16.291                 | 17.294                         | 1.076,8        | 12.514               | 6.511                  | 6.912                          | 552,3          |
| 2006 | 17.531               | 18.186                 | 18.710                         | 1.067,2        | 12.530               | 6.924                  | 7.123                          | 568,5          |
| 2007 | 20.550               | 24.907                 | 24.907                         | 1.212,0        | 10.311               | 6.604                  | 6.604                          | 640,5          |

Outro ponto interessante no faturamento da indústria, é a diferença entre os preços dos produtos exportados e o preço dos importados ao longo dos anos. Como pode ser visto na tabela 6, os preços dos produtos importados, sendo eles semiacabados, planos ou longos, são sempre maiores que os preços dos exportados. Isso se dá pelo fato do produto importado ser um produto superior ao produto nacional, ou seja, com melhores características e maior valor agregado. Isso faz bastante sentido: como o Brasil possui importações em quantidades reduzidas, elas são de produtos com características especiais ou para algum consumo específico. [19]

Tabela 6 - Preço médio de produtos de aço entre 1985 e 2007. [19]

| PRODUTOS      | PREÇO VALOR NOMINAL               |      |      |      |                    |       |       |       |
|---------------|-----------------------------------|------|------|------|--------------------|-------|-------|-------|
|               | EXPORTAÇÃO US\$ /t                |      |      |      | IMPORTAÇÃO US\$ /t |       |       |       |
|               | 1985                              | 1995 | 2005 | 2007 | 1985               | 1995  | 2005  | 2007  |
| SEMI-ACABADOS | 178                               | 272  | 389  | 225  | 4.054              | 1.712 | 1.395 | 1.490 |
| PLANOS        | 253                               | 444  | 663  | 408  | 812                | 1.229 | 873   | 904   |
| LONGOS        | 251                               | 400  | 532  | 309  | 1.287              | 972   | 1.086 | 1.304 |
| PRODUTOS      | PREÇO VALOR CONSTANTE (base 2007) |      |      |      |                    |       |       |       |
|               | EXPORTAÇÃO US\$ /t                |      |      |      | IMPORTAÇÃO US\$ /t |       |       |       |
|               | 1985                              | 1995 | 2005 | 2007 | 1985               | 1995  | 2005  | 2007  |
| SEMI-ACABADOS | 343                               | 370  | 413  | 225  | 7.811              | 2.329 | 1.481 | 1.490 |
| PLANOS        | 487                               | 605  | 704  | 408  | 1.565              | 1.672 | 927   | 904   |
| LONGOS        | 484                               | 545  | 565  | 309  | 2.481              | 1.323 | 1.153 | 1.304 |

Outro aspecto importante nas exportações brasileiras são os países de seu destino. Isso fica evidente quando vemos de quais países o Brasil é mais dependente. Já em 2017, como pode ser visto na figura 14, grande parte das exportações de ferro-gusa brasileiro teve os EUA como destino (44% do total das exportações), seguido dos Países Baixos (ou Holanda) e Itália com 16% e 13%, respectivamente. Esses números mostram uma grande dependência em relação aos Estados Unidos, sendo peça importante para a manutenção e crescimento do total das exportações brasileiras. No mesmo ano, o saldo comercial do setor siderúrgico no país mostrou superávit de 5,8 bilhões de dólares, com o total das exportações próximo a 8 bilhões de dólares. [23]

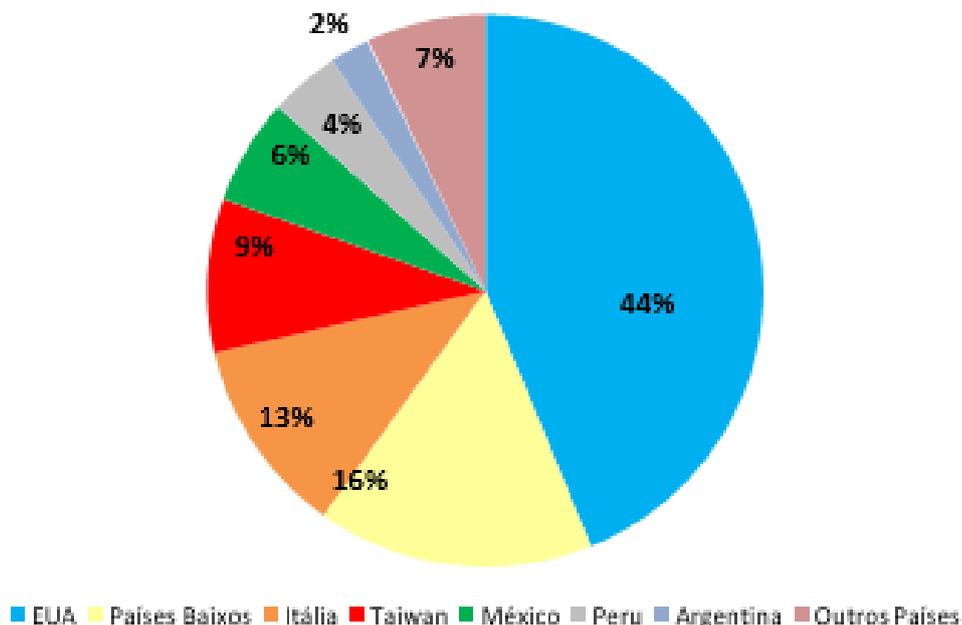


Figura 14 - Destino das Exportações Brasileiras de Ferro-Gusa em 2017. [23]

Internamente, os maiores consumidores são as indústrias automobilísticas e o setor de construção civil, totalizando 18,9 milhões de toneladas em vendas internas de produtos. Também em 2017, o consumo brasileiro de aço bruto chegou a 102 kg/per capita, enquanto o consumo per capita de produtos siderúrgicos foi de 19,17 kg. É bom enfatizar que o Brasil ainda possui um nível de consumo de aço per capita bem abaixo dos líderes no quesito, como Coréia do Sul, Japão e China, e abaixo da média mundial. O consumo per capita desses países pode ser visto na tabela 7, com a Coréia do Sul tendo um nível altíssimo de consumo aparente. [23]

Tabela 7 - Consumo mundial de aço per capita (kg/habitante). [23]

| PAÍSES / COUNTRIES               | 2013    | 2014    | 2015    | 2016    | 2017    |
|----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Coreia do Sul / South Korea      | 1.038,4 | 1.108,8 | 1.109,5 | 1.130,2 | 1.152,4 |
| Formosa / Taiwan                 | 795,8   | 837,2   | 749,6   | 782,1   | n.d.    |
| República Checa / Czech Republic | 556,2   | 587,6   | 627,4   | 634,7   | n.d.    |
| Alemanha / Germany               | 471,8   | 491,6   | 486,6   | 499,5   | 537,5   |
| China / China                    | 539,5   | 519     | 489     | 492,7   | 544,6   |
| Japão / Japan                    | 513,8   | 533,9   | 497     | 492,6   | 549,9   |
| Austria / Austria                | 416,7   | 421,3   | 455,2   | 469,6   | n.d.    |
| Turquia / Turkey                 | 410,6   | 396,9   | 437,1   | 428     | n.d.    |
| Canadá / Canada                  | 420,1   | 443,3   | 371,3   | 417,7   | n.d.    |
| Itália / Italy                   | 367,5   | 367,9   | 412,0   | 405,2   | 437,9   |
| EUA / USA                        | n.d.    | n.d.    | n.d.    | n.d.    | 338,0   |
| México / Mexico                  | n.d.    | n.d.    | n.d.    | n.d.    | 102,0   |
| Brasil / Brazil                  | 155,0   | 140,0   | 116,0   | 98,0    | 101,8   |
| Índia / India                    | n.d.    | n.d.    | n.d.    | n.d.    | 78,4    |
| Mundo / World                    | 218,0   | 216,9   | 208,3   | 207,9   | n.d.    |

#### 4.4. Cenário para o Futuro da indústria no mundo

A indústria siderúrgica já enxerga uma encruzilhada em seu futuro. Além da diminuição da qualidade de recursos, a indústria enfrenta outros obstáculos que diminuem os lucros e reduzem os investimentos no setor, como as interrupções no fluxo de comércio entre países e a demanda global decrescente. Dessa forma, um cenário possível para o futuro da indústria siderúrgica se dá pela transformação digital. [24]

O Fórum Econômico Mundial já prevê que essa transformação digital da indústria irá criar mais de 425 bilhões de dólares para a indústria de mineração e metais globalmente, até 2025. Essa digitalização não está somente na manutenção e automatização de processos e máquinas, mas sim de novos modelos de negócios e técnicas mais inovadoras. Assim, as empresas que começarem essa mudança com maior rapidez, provavelmente estarão em melhor posição para conseguir gerar esses valores previstos. [24] [25]

A demanda por aço e outros materiais não está diminuindo, pois a sociedade continuará precisando deles para facilitar o desenvolvimento econômico. O grande ponto de atenção para a indústria siderúrgica é o surgimento de novos materiais e tecnologias, e para que continue a se manter no topo, o aço deverá também se modernizar, como a criação de produtos mais leves e duradouros, como os aços especiais, por exemplo. No mesmo artigo do Fórum Econômico Mundial, segundo a Accenture, o crescimento da demanda pode cair para um nível de 0,4% ao ano, o que seria um nível bem abaixo da previsão incremental da análise (quase 13% menos), como mostra a figura 15. [24], [25]

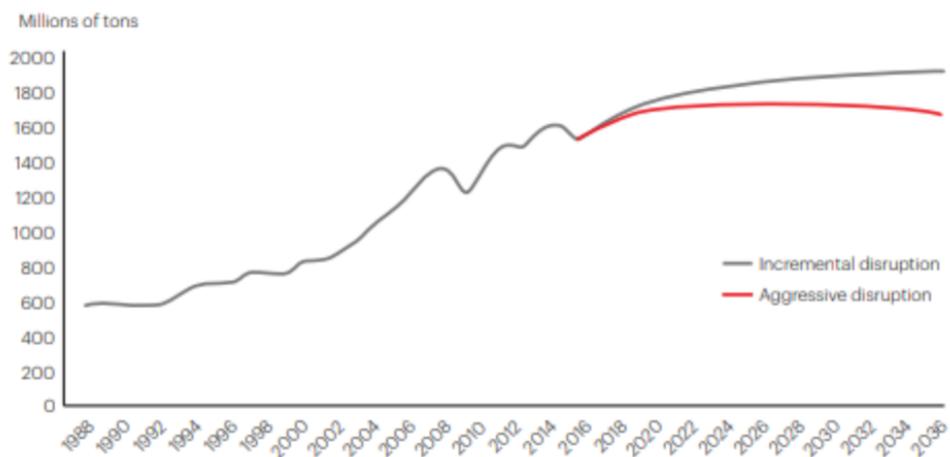


Figura 15 - Previsão para a demanda mundial de aço, em milhões de toneladas. [24]

Em uma entrevista sobre tecnologia chamada SMAC [26], Stefan Koch, líder do setor de metais da SAP, empresa líder mundial de soluções em software, cita algumas formas na qual a digitalização poderia mudar o futuro da indústria de metais no mundo: a chamada aprendizagem das máquinas, que otimizará as operações e poderá simplificar os processos de produção; o uso de realidade virtual que criará a possibilidade de operações virtuais, fazendo com que seja possível a criação de novos modelos de negócios; e o uso da tecnologia blockchain, que pode ser utilizada para o rastreamento de material. [24]

Sobre a aprendizagem das máquinas, é sabido que existem algumas indústrias onde já são utilizados sensores para monitorar o desempenho e maximizar o tempo de atividade das máquinas, mas é possível ver mais além. Essa aprendizagem poderá fazer com que as empresas consigam otimizar todo o ciclo de produção, desde o fornecimento de materiais até o final do processamento, o que automatizaria processos ou eliminaria etapas desnecessárias do processo. Quanto maior a otimização de processos e monitoramento de dados, melhor e mais fácil será prever os resultados e melhorar a qualidade do produto final.

Já sobre o uso de realidade virtual, Koch diz que algumas empresas de metal já estão se afastando da propriedade de ativos, contratando partes do fluxo, como produção, recursos e logística, tentando controlar cada vez mais a cadeia de valor. Por exemplo, uma empresa pode usar contatos de realidade virtual para uso no controle e reparo em um negócio que possua tarefas com fornecedores em outros países. Já falando de blockchain, vemos uma boa utilidade: ela mantém o histórico de todos os dados, além de não ter uma autoridade central. Por isso, os algoritmos utilizados permitem uma verificação contínua de pureza, ou seja, garante a autenticidade dos materiais. [24]

Um bom exemplo de empresa da indústria siderúrgica de sucesso da transformação digital é a Gerdau, na qual muitos processos estão melhorando a tomada de decisão através de tecnologia. Entre as tecnologias utilizadas estão inteligência artificial, a realidade artificial e aplicativos que reduzem o tempo de atividades, automatizam processos e unificam os dados da empresa, com programas que se comunicam com as máquinas. Assim, a empresa toma a liderança do mercado no quesito inovação. [24], [25]

## 5. Conclusões

Como é de conhecimento público, um ótimo exemplo que ilustra a evolução do setor siderúrgico se dá no uso de aço nos automóveis. A relação entre o peso médio da estrutura de um carro pela área de sua projeção no solo caiu constantemente, saindo de 43kg/m<sup>2</sup> em meados da década de 1970, para 35kg/m<sup>2</sup> no fim da década de 1980, ou seja, o peso dos carros diminuiu de forma que, não só pela introdução de polímeros como certos componentes dos carros, mas também pela introdução de aços com alto limite de elasticidade, que só foi possível com a contínua evolução do setor. Com o desenvolvimento de carros mais velozes, essa relação parou de cair, tanto para evitar falta de aderência dos veículos na pista, quanto para introduzir mais itens de segurança.

Através das análises do mercado nacional e internacional, além do desenvolvimento dos processos e produtos na indústria siderúrgica, podemos tirar conclusões importantes, que explicam as mudanças que ocorreram nos últimos 30 anos no mercado siderúrgico.

Um primeiro ponto importante é o fato de os países asiáticos, liderados pela China, tomaram os lugares de maiores produtores do mundo, tendo China, Japão, Índia e Coreia do Sul entre os 6 maiores produtores do mundo. Além disso, viu-se um encolhimento da capacidade de produção de países industrializados, como alguns europeus e os EUA, que viram uma concorrência enorme dos países asiáticos, onde existem inúmeras vantagens competitivas, como energia barata, mão de obra e matérias-primas baratas, além da pouca rigidez nas leis ambientais relacionadas à poluição.

A situação nacional mostra que, nos últimos 10 anos, ocorreu um aumento na produção, que se manteve num mesmo nível por algum tempo, mas que sofreu uma grande queda no ano de 2015, em função da crise econômica que o país atravessou (e ainda atravessa), tendo algumas usinas desativadas devido à inexistência de projetos. Houve uma retomada a patamares de antes da queda, projetando um novo aquecimento do mercado siderúrgico no país.

O setor aumentou sua produtividade, em função de inovações tecnológicas na indústria, o que aumentou a qualidade dos produtos finais, assim como reduziu os preços de forma relativa, ou seja, foi possível utilizar menos material para uma mesma função. As siderúrgicas aumentaram seus investimentos em pesquisa e desenvolvimento, promovendo a introdução de uma grande variedade de novos aços, além da criação e melhoria dos processos de fabricação.

Os novos aços produzidos, além de possuírem melhores propriedades mecânicas, aumentaram a gama de possibilidades para sua aplicação. Algumas usinas começaram a operar em menor escala, se especializando em aços com funções mais específicas, fazendo com que clientes com demandas diversas pudessem ser satisfeitos. Trabalhando com fornos elétricos resulta uma maior flexibilidade de produção desses aços.

Além dos novos aços, uma evolução importante se deu nos processos em si, com a melhora dos processos existentes, e criação de novos processos de fabricação, com o crescente aumento do uso dos fornos elétricos e diminuição da fabricação pela aciaria LD, como mostrado.

Sobre a sucata, sabemos que há três diferentes tipos de sucata que podem ser geradas: na fabricação de aços (sucata de geração interna ou doméstica); na fabricação de produtos industriais utilizando aço (sucata industrial); sucata de obsolescência (ou sucata velha). Dentro desses tipos de sucata, foi possível concluir que um dos importantes indicadores de nível de desenvolvimento de um país é a geração de sucata industrial, e quanto menor a sucata interna e maior o uso da sucata de obsolescência, maior é o uso de aço e maior será a oferta de sucata no país. Essa maior oferta faz com que o preço da produção do aço seja menor, diminuindo o custo e aumentando o lucro gerado pelo aço produzido. No Brasil, a sucata gerada atualmente é quase totalmente utilizada na própria indústria siderúrgica, fazendo com que os níveis de exportação e importação de sucata fiquem em níveis bastante baixos.

Além disso, foi possível analisar o mercado, tanto nacional quanto internacional. Sobre o mercado nacional, vimos que existiu um grande aumento de investimentos no setor siderúrgico a partir da década de 1990, com a privatizações de várias empresas no país, fazendo com que empresas começassem a ser integradas a grupos industriais maiores. Atualmente, o parque industrial de aço brasileiro é o maior da América do Sul, e o país é o maior produtor de aço da América Latina, deixando claro que o mercado é bastante importante para a economia brasileira, com alto volume de exportação e grande geração de empregos.

Analisando o mercado internacional, constatamos que a China passa o Japão já na década de 1990 como maior produtor de aço do mundo, tendo seu crescimento muito influenciado pelo desenvolvimento de países asiáticos, incluindo a Índia, principalmente, e pelo aumento dos investimentos em infra estrutura, como na construção civil e investimentos em transportes terrestres. Esses três países eram os três maiores produtores

de aço em 2015, com a China na primeira colocação, seguida de Japão e Índia. Comparando com o mercado internacional, o Brasil mostrou a menor participação na produção mundial dos últimos dez anos, chegando a níveis abaixo de 2%, como é ilustrado na figura 13.

O faturamento da indústria teve uma grande mudança ao longo do tempo. Apesar dele continuar crescendo com o passar dos anos, é cada vez mais visível a diferença entre os preços dos produtos exportados e os produtos importados. Como dito anteriormente, o Brasil exporta aço de menor valor agregado e em grande quantidade, e por possuir essa grande quantidade, não tem a necessidade de altos volumes importados. Assim, os preços dos produtos importados são mais elevados, por consequência da necessidade do país do consumir produtos com características especiais, ou que sirvam para algum consumo específico.

Concluindo, está claro que o próximo nível da indústria siderúrgica dependerá da transformação digital. Cada vez mais as empresas possuem o foco em se digitalizar, seja para aumentar o nível de automação e análise de dados, seja para ser mais sensível às previsões para manutenção e maior confiabilidade do material, garantindo autenticidade do material fabricado. Sendo assim, com a transformação digital, será possível prever com mais eficiência os resultados, diminuir as possibilidades de erro e manter a qualidade do produto em toda a cadeia produtiva.

## Referências Bibliográficas

- [1] M. R. D. S. CARVALHO, “Reciclagem do aço: Um panorama sobre a atual situação do mercado brasileiro e mundial”, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2009.
- [2] “História do aço”, Rio de Janeiro, 2002.
- [3] A. VARGAS e C. E. FONSECA, “A história do inox através das pessoas”, São Paulo, SP - Brasil, 2004.
- [4] R. G. OLIVEIRA, “Produção e reciclagem de aços inoxidáveis”, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2009.
- [5] R. ADAMIAN, H. V. MEDINA, e J. WEISZ, *Novos Materiais: Tecnologia e aspectos econômicos*. Rio de Janeiro, RJ - Brasil: COPPE - UFRJ, 2009.
- [6] S. H. BESSEMER e S. THOMAS, “Os Processos de conversão”, p. 1–20, 1940.
- [7] C. R. DE FIGUEIREDO e R. C. F. S. SIMÕES, “A Evolução Histórica da Produção e Exportação do Aço Brasileiro”, *Rev. de Negócios Internacionais*, Piracicaba, SP - Brasil, p. 7–12, 2007.
- [8] V. CHIAVERINI, *Tecnologia Mecânica*. São Paulo, SP - Brasil, 1986.
- [9] “Instituto Aço Brasil”. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br>. Acesso em: 15-abr-2018.
- [10] L. ARRUDA D. SHIBATA, “Lingotamento Contínuo”, São Paulo, SP - Brasil, USP - Escola de engenharia de Lorena (EEL - USP), 2013.
- [11] W. THOMAS HOGAN, *Steel in the 21st Century: Competition Forges a New World Order*. Nova York, EUA, Lexington Books, 1994.
- [12] Redação do Site Inovação Tecnológica, “Inovação Tecnológica”, 2016. Disponível em: <https://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=revolucao-mineracao-metalurgia-descoberta-acaso&id=010170160902#.XFtzvy3Oo1I>. Acesso em: 06-fev-2019.
- [13] “ArcelorMittal”. Disponível em: <http://corporate.arcelormittal.com/>. Acesso em: 19-maio-2018.

- [14] “Mdic”. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/noticias/9-assuntos/categ-comercio-exterior/478-metalurgia-e-siderurgia-2>. Acesso em: 12-mar-2018.
- [15] “Aços & Ligas | Aço : Processos de Fabricação | Processo Siderúrgico”. Disponível em: <http://www.infomet.com.br/site/acos-e-ligas-conteudo-ler.php?codConteudo=234>. Acesso em: 25-ago-2018.
- [16] “Aciaria News”. Disponível em: <tp://aciarianews.blogspot.com.br/2012/12/forno-eletrico-arco-fea.html>. Acesso em: 15-mar-2018.
- [17] L. F. A. CASTRO, R. M. FIGUEIRA, e R. P. TAVARES, “Princípios Básicos e Processos de Fabricação do Gusa ao Aço Líquido”, Belo Horizonte, MG - Brasil, 1985.
- [18] J. C. N. TRINDADE, “Obtenção, Mercado e Reciclagem de Sucatas Ferrosas na Indústria Siderúrgica Brasileira”, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, 2013.
- [19] L. F. QUARESMA, “MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA”, Belo Horizonte, MG - Brasil, 2009.
- [20] Economics Committee, “Steel Statistical Yearbook 2017”, Bruxelas, Bélgica, 2017.
- [21] “Valor Econômico”. Disponível em: <http://www.valor.com.br/empresas/siderurgia>. Acesso em: 19-set-2018.
- [22] “Economy Watch”. Disponível em: <http://www.economywatch.com/world-industries/steel-industry/>. Acesso em: 19-mar-2018.
- [23] Secretaria de Geologia Mineração e Transformação Mineral, “Anuário estatístico do setor metalúrgico”, Brasília - Brasil, 2018.
- [24] A. Rabelo, “Inteligência Corporativa”, *É hora da indústria siderúrgica se inovar digitalmente*, 2018. Disponível em: <https://inteligencia.rockcontent.com/transformacao-digital-siderurgica/>. Acesso em: 18-maio-2019.
- [25] World Economic Forum & Accenture, “Digital Transformation Initiative - Mining and Metals Industry”, Geneva, Switzerland, 2017.
- [26] “S.M.A.C. Talk Technology Podcast”, Estados Unidos, 2018.

