

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS

GUSTAVO LUZ COUTINHO

**MODELO DE PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE  
MINAS GERAIS (2022 - 2024)**

JUIZ DE FORA - MG  
2022

GUSTAVO LUZ COUTINHO

**MODELO DE PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE  
MINAS GERAIS (2022 - 2024)**

Monografia apresentado ao curso de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito para obtenção do título de bacharel em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Zanini

JUIZ DE FORA - MG  
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
REITORIA - FACECON - Depto. de Economia

## FACULDADE DE ECONOMIA / UFJF

### ATA DE APROVAÇÃO DE MONOGRAFIA II (MONO B)

Na data de 09/08/2022, a Banca Examinadora, composta pelos professores

1 – Alexandre Zanini - orientador; e

2 – Rafael Morais de Souza,

reuniu-se para avaliar a monografia do acadêmico **GUSTAVO LUZ COUTINHO**, intitulada: **MODELO DE PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS (2022 - 2024)**.

Após primeira avaliação, resolveu a Banca sugerir alterações ao texto apresentado, conforme relatório sintetizado pelo orientador. A Banca, delegando ao orientador a observância das alterações propostas, resolveu **APROVAR** (APROVAR / NÃO APROVAR) a referida monografia.

### ASSINATURA ELETRÔNICA DOS PROFESSORES AVALIADORES



Documento assinado eletronicamente por **Alexandre Zanini, Professor(a)**, em 10/08/2022, às 11:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Morais de Souza, Professor(a)**, em 10/08/2022, às 14:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf ([www2.ufjf.br/SEI](http://www2.ufjf.br/SEI)) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **0902268** e o código CRC **F47DE997**.

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Luz Coutinho, Gustavo.

MODELO DE PREVISÃO DA PRODUÇÃO DE FERRO GUSA NO ESTADO DE MINAS GERAIS (2022 - 2024) / Gustavo Luz Coutinho. – 2022.

46 f.

Orientador: Alezandre Zanini

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Economia, 2022.

1. Produção de Ferro Gusa. 2. Ferro Gusa de Minas Gerais. 3. Método de Análise de Séries Temporais. I. Zanini, Alezandre, orient. II. Título.

*Á minha família.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a todos que me acompanharam no meu dia a dia, minha mãe Valéria Luz por me apoiar em todos os momentos da minha vida, ser meu alicerce e meu maior exemplo; minha avó Daci Luz, que demonstra todos os dias o que é amar e cuidar em todas as suas ações; meu avô Vanir Rodrigues, que é meu maior exemplo masculino e que me mostrou que existe diversas oportunidades na vida, só temos que nos preparar para elas; e minha irmã Marcela Luz, minha melhor amiga e parceira do meu primeiro a último dia nesta passagem terrena. A minha namorada Liz, pela ajuda e auxílio em todos os momentos no meu lado na confecção deste trabalho. A minha tia Vânia, tio Flávio, tio Rodrigo e tia Edna, sinto que essa conquista não é só minha e sim de toda a nossa família. A meu orientador Alexandre Zanini, pelos ensinamentos, auxílios e companheirismo no desenvolvimento desta monografia. A todos os mestres da UFJF pelos ensinamentos durante a minha formação, e a todos que de alguma forma contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

## RESUMO

O objetivo principal desse estudo consiste em estudar e aplicar alguns métodos de análise de dados que podem ser aplicados como ferramentas para dar suporte à compreensão e tomada de decisões quanto ao planejamento do mercado de ferro gusa de Minas Gerais. Sendo assim o foco é estimar um modelo de previsão da produção de ferro gusa de Minas Gerais entre os anos de 2022 e 2024. Para atingir este objetivo foi realizado o estudo de um conjunto de métodos estatísticos aplicados a série de dados, são eles: Método de Amortecimento Exponencial, Método Univariado de Box & Jenkins e Análise de Regressão Dinâmica. Para selecionar o modelo a ser utilizado no cálculo das previsões promoveu-se uma competição entre estes métodos mencionados anteriormente através da análise de *out-of-sample rolling evaluation*. Para dar suporte à estimação do modelo de previsão, foi feito um estudo sobre o setor guseiro no Brasil e em Minas Gerais. O modelo vencedor aponta para um decréscimo da produção de ferro gusa mineiro em 3,4% ao ano entre 2022 a 2024.

**Palavras-chave:** Produção de Ferro Gusa, Ferro Gusa de Minas Gerais, Métodos de análise de séries de tempo.

## ABSTRACT

The main goal of this study consists on study and applies some methods of data analyses that can be apply as tools, to support the decision-making for understanding and planning the pig iron market in Minas Gerais state. Thus, it focus is estimate a prediction model for the pig iron production in Minas Gerais between 2022 and 2024. To achieve this goal, a study of a group of statistical methods was applied to the data series, they are: exponential smoothing, Box & Jenkins and Dynamic Regression. To select the model to be used for the prediction, a competition was made between the methods previously mentioned through the analyses of out-of-sample rolling evaluation. To support the estimation of the prediction model, a study was done about the pig iron sector in Brazil and Minas Gerais. The winner model indicates decrease of the Minas Gerais production of pig iron of 3.4% per year between 2022 and 2024.

**Key words:** Pig Iron production, Pig Iron from Minas Gerais, series of time analy

**LISTA DE FIGURAS**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 1: Produção de Ferro Gusa Comercial em Minas Gerias x Outros Estados (Toneladas).....</b> | <b>17</b> |
| <b>Figura 2: Produção de Ferro Gusa Comercial em Minas Gerias (Toneladas) .....</b>                 | <b>19</b> |
| <b>Figura 3: Comercialização do Ferro Gusa Comercial Nacional (Toneladas).....</b>                  | <b>21</b> |
| <b>Figura 4: Comercialização do Ferro Gusa Comercial de Minas Gerais (Toneladas) .....</b>          | <b>22</b> |
| <b>Figura 5: Participação dos Principais Importadores (participação %).....</b>                     | <b>23</b> |
| <b>Figura 6: Construção de um modelo de Regressão Dinâmica.....</b>                                 | <b>31</b> |
| <b>Figura 7: Procedimento de <i>out-of-sample rolling evaluation</i> .....</b>                      | <b>33</b> |
| <b>Figura 8: Produção de Ferro Gusa Comercial por Minas Gerais e projeções para .....</b>           | <b>42</b> |

**LISTA DE TABELAS E QUADROS**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Tabela 1: Parâmetro da projeção pelo método de Amortecimento Exponencial .....</b>                            | <b>35</b> |
| <b>Tabela 2: Parâmetro da projeção pelo método de Box and Jenkins.....</b>                                       | <b>36</b> |
| <b>Tabela 3: Parâmetro da projeção pelo método de Regressão Dinâmica .....</b>                                   | <b>37</b> |
| <b>Tabela 4: Competição entre os modelos .....</b>   | <b>38</b> |
| <b>Tabela 5: Previsões da produção de Ferro Gusa Comercial em Minas Gerais - Tons ....</b>                       | <b>39</b> |
| <b>Tabela 6: Evolução anual da produção de ferro gusa de Minas Gerais.....</b>                                   | <b>41</b> |
| <b>Quadro 1: : Caracterização do Gusa .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>Quadro 2: Resumo das características teóricas da FAC e da FACP dos modelos AR(p), MA(q) e ARMA(p,q) .....</b> | <b>29</b> |
| <b>Quadro 3: Variáveis utilizadas nas análises e projeções.....</b>  | <b>35</b> |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                    | <b>12</b> |
| <b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>                         | <b>14</b> |
| 2.1 História da Siderurgia no Brasil                    | 14        |
| 2.2 A Produção de Minas Gerais                          | 18        |
| 2.3 Mercado Consumidor de Ferro Gusa Comercial Mineiro  | 20        |
| <b>3. METODOLOGIA</b>                                   | <b>24</b> |
| 3.1 Séries Temporais e Processos Estocásticos           | 24        |
| 3.2 Método Amortecimento Exponencial (MAE)              | 25        |
| 3.3 Método Univariado de Box & Jenkins (MBJ)            | 26        |
| 3.4 Método de Regressão Dinâmica (MRD)                  | 30        |
| 3.5 Competição de Métodos                               | 32        |
| <b>4. ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS</b>                 | <b>34</b> |
| 4.1 Banco de Dados                                      | 34        |
| 4.2 Equações de Previsão Estimadas                      | 35        |
| 4.3 Competição de Métodos                               | 38        |
| 4.4 Previsões da produção de ferro gusa em Minas Gerais | 39        |
| <b>5. CONCLUSÃO</b>                                     | <b>43</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS</b>                                   | <b>44</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Utilizado no setor de construção, transporte, energia, fabricação de maquinário e nas aplicações domésticas, o aço é principal insumo em todas as escalas produtivas citadas, tendo importância na economia como um todo, dada suas aplicações em setores utilizados como termômetro para avaliar a atividade econômica de todo um país e sua importância histórica para o desenvolvimento de toda a humanidade (Instituto Aço Brasil, 2019).

Em 2017, para cada dois empregos gerados no setor de aço, eram gerados mais treze novos postos de trabalho na cadeia produtiva global, demonstrando o impacto do setor para toda a economia mundial. (World Steel Association, 2019).

O Brasil, em comparação com todos os países do mundo, posiciona-se como o nono maior produtor de aço, ficando atrás somente de potências industriais, como a China e os Estados Unidos, para citar alguns. Representando 2% de toda a produção global do ano de 2018, 60,5%, de todas as 34,9 milhões de toneladas produzidas pelo Brasil, está voltada para o consumo interno e 39,5% para exportação (World Steel Association, 2019).

Para se fabricar o aço, utiliza-se como principal insumo o ferro gusa e sua produção no Brasil tem passados por várias alterações. Em 2020, o setor produtivo apresentava-se diversificado, possuindo produtores independentes, comumente conhecido como guseiros independentes, e usinas integradas de grande capacidade produtiva, espalhadas pelos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Espírito Santo, Maranhão e Pará, sendo o primeiro ocupando o posto de maior produtor nacional (SINDIFER, 2021). As usinas integradas possuem sua produção de ferro gusa voltada para a cadeia produtiva do aço, já os guseiros independentes produzem o ferro gusa com objetivo fim de comercializar este produto para terceiros, sendo para o mercado externo, no primeiro momento, e para o mercado interno, como segunda opção (DE PAULA, 2014). A produção dos guseiros independentes é denominada gusa de mercado (GM), ou internacionalmente chamado de *Merchant Pig Iron* (MPI), pelo fato desta ser feita em usinas não-integradas produtoras exclusivamente de ferro gusa voltada a comercialização (Ministério de Minas e Energia, 2009).

Em 2021, o volume exportado de ferro gusa pelo Brasil era de 3,24 milhões de toneladas, abastecendo principalmente os mercados consumidores da China (57%) e dos Estados Unidos (18%), representando, entre os anos de 2010-21, 62% de todo o volume exportado (Comexstat, 2022).

A produção nacional atingiu a marca de 4,7 milhões de toneladas dos guseiros independentes (SINDIFER, 2022) e 30 milhões das usinas integradas para o ano de 2021 (IABr, 2022), o consumo interno foi abastecido e o mercado externo também. Os produtores independentes possuem essa denominação pelo fato de sua produção estar voltada a comercialização do ferro gusa para terceiro, não o transformando em aço ou outros bens, vendendo o gusa em sua forma pura, denominado gusa de mercado (GM) sendo representado pelo gusa de aciaria e o gusa de fundição, ambos ideais para o manuseio e transporte de longas distâncias, sendo o de aciaria utilizado para a produção de aço e o mais produzido no país (ALVES, 2022).

Pelo dinamismo em sua produção, com a entrada de novos produtores e o desligamento e construção de novos altos-fornos, sua relação com o mercado internacional e com o mercado de aço, o ferro gusa possui uma alta volatilidade em sua produção, reagindo as alterações que ocorrem nos setores citados acima de forma, até então, não compreendida, impactando na comercialização do bem, em sua produção e na manutenção do mercado como um todo. A previsão de sua produção é um problema enfrentado por todos aqueles que atuam em tal mercado e naqueles que utilizam o produto como insumo em sua linha de fabricação, já que estudos nesta área não são recorrentes.

Desta forma, este estudo tem como objetivo melhor quantificar e qualificar as interações das variáveis relacionadas ao mercado externo e interno com a produção do ferro gusa independente mineiro através de três métodos econométricos para séries temporais, sendo dois de método autoprojeção (Amortecimento Exponencial e Box e Jankins Univariado) e um método casual (Regressão Dinâmica). Os modelos estimados através destes três métodos serão submetidos a uma metodologia de competição com análise recursiva fora da amostra, chegando em um melhor modelo. Com os valores projetados advindos do modelo selecionado, serão analisadas as interações e a organização do mercado de ferro gusa esperada para os próximos anos.

Este trabalho está dividido em 5 capítulos: Introdução; o 2º capítulo se trata de um estudo do mercado produtor de ferro gusa, sua história e suas interações com diversos mercados; o 3º capítulo descreve a metodologia que será utilizada para a realização dos modelos econométrico; o 4º capítulo apresenta o resultado da pesquisa; o último apresenta os resultados alcançados e as conclusões.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 História da Siderurgia no Brasil

Desde a Revolução Industrial, o insumo mais utilizado na fabricação de bens duráveis e resistentes era o ferro, porém, após o século 6 A. C. os chineses criaram o ferro fundido: uma junção do ferro em temperaturas altas com carbono. Esse ferro foi, tempos depois, denominado de ferro gusa. Este insumo era composto de um ferro forte envolto de uma camada de carbono, o que o transformava em algo frágil e de difícil manuseio. Na Revolução Industrial, os “iron makers”, denominação para aqueles que produziam ferro, dominaram a arte de esquentar o ferro gusa em lingotes e, assim, produzir o ferro fundido e o aço, bens que possuíam a força do ferro sem a fragilidade gerada pelo carbono (Cosiaço, 2016).

O aço, apesar de ter como origem a mesma matéria-prima que o ferro fundido, possui a adição de outros componentes químicos, dando a ele maior resistência ao impacto, corrosão e desgaste, sendo uma produção mais barata pelo baixo consumo de ferro gusa. Diante essas características, o aço passou a representar 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial (Instituto Aço Brasil, 2022), sendo o metal mais consumido e produzido em todo o país, refletindo os impactos diretamente na produção de seu insumo principal, o ferro gusa (Cosiaço, 2016).

A produção do ferro gusa, em território nacional, teve seu início no século XIX pelo pioneiro intendente Manoel Ferreira da Câmara Bithencourt e Sá, de Minas Gerais, porém todos os registros são experimentações com o manuseio do ferro. O marco histórico utilizado como início é o ano de 1888 com a instalação do primeiro alto-forno, forno de cuba ou fornalha de 20 a 30 metros de altura, a primeira usina com características modernas no país, a Usina Esperança, em Itabirito, Minas Gerais (BAETA; PILÓ; NEVES, 2012, n.p.). Depois desse marco, a produção nacional apresentou seu primeiro histórico de produção, atingindo 2.100 toneladas anuais de ferro gusa no início do séc. XIX (ARAÚJO, 1997) crescendo nos anos subsequentes até chegar no marco de 2008, quando os guseiros independentes de Minas Gerais produziram 8,3 mil toneladas, representando 25% de toda a produção nacional no ano de 2008 (Ministério de Minas e Energia, 2009). Com o decorrer dos anos, o estado de Minas Gerais, onde se iniciou a produção, permaneceu em seu posto de maior produtor de ferro gusa no Brasil, representando 77,7% de toda a produção de guseiros independentes no ano de 2020 (SINDIFER, 2021).

De acordo com a Centro de Informações Metal Mecânica, a forma mais utilizada de se transformar o ferro gusa em aço é através do uso de alto-forno. Dentro dessa estrutura de altas temperaturas, o minério de ferro é misturado com carvão, coque, ar e calcário. De forma imediata, ocorre-se a produção da escória, um subproduto do processo usado na indústria do cimento e na pavimentação, e o ferro gusa, produto principal, constituído por carbono, silício, manganês, enxofre e, majoritariamente, ferro, sendo que a concentração de cada um desses componentes químicos irá classificar qual é o tipo de ferro gusa resultante. Após produzido, o ferro gusa passa por um processo de aciaria, injetando oxigênio para queimar os carbonos e outras impurezas, refinando-o e chegando ao produto final, o aço.

O Ferro Gusa é de extrema importância para a indústria da siderurgia, sendo esse produto a liga de ferro-carbono utilizada como matéria-prima do aço. Sua fabricação é feita utilizando alto-forno, onde são inseridos o minério de ferro, o coque e os materiais fundentes. Após 6 a 8 horas, o ferro gusa líquido é escorificado, retirando suas impurezas, e gerando o ferro gusa e a escória. Ele, já em seu estado sólido, é transferido para a aciaria e convertido para o aço. (PASSOS, 2009).

O ferro gusa é definido em dois grandes grupos, o gusa siderúrgico e comercial, e pode ser caracterizado em três tipos conforme o quadro 01 abaixo:

Quadro 1: : Caracterização do Gusa

| <b>Tipo</b>                          | <b>Aplicação</b>        | <b>Composição Química</b>   |
|--------------------------------------|-------------------------|---|
| Ferro-gusa básico<br>(ou de aciaria) | Siderurgia              | <1,5% silício, 0,5-1% manganês, <0,05% enxofre, <0,12% fósforo    |
| Ferro-gusa de fundição               | Fundição<br>(Comercial) | 1,5-3,5% silício, 0,5-1% manganês, <0,05% enxofre, <0,12% fósforo |
| Ferro-gusa nodular                   | Fundição<br>(Comercial) | <0,05% manganês, <0,02% enxofre, <0,05% fósforo                   |

Fonte: EBC - 2014

Com a alta demanda do aço, o ferro gusa também é demandado principalmente pelas características do ferro gusa nacional. Diante a alta disponibilidade de minério de ferro no solo brasileiro, o ferro gusa nacional é chamado de “Brazil green steal”, significa o ferro verde brasileiro em tradução livre, diante o fato deste ser produzido através de alto fornos com o uso

de carvão vegetal, algo não comum nas maiores produções de usinas integradas. (CIFLORESTAS, 2018).

A utilização do carvão vegetal está associada a alta disponibilidade de eucalipto no estado mineiro e hoje representa 20% de toda a produção de ferro gusa e materiais crus no Brasil, sendo em Minas Gerais que tal produção é melhor conhecida e disseminada (CIFLORESTAS, 2018).

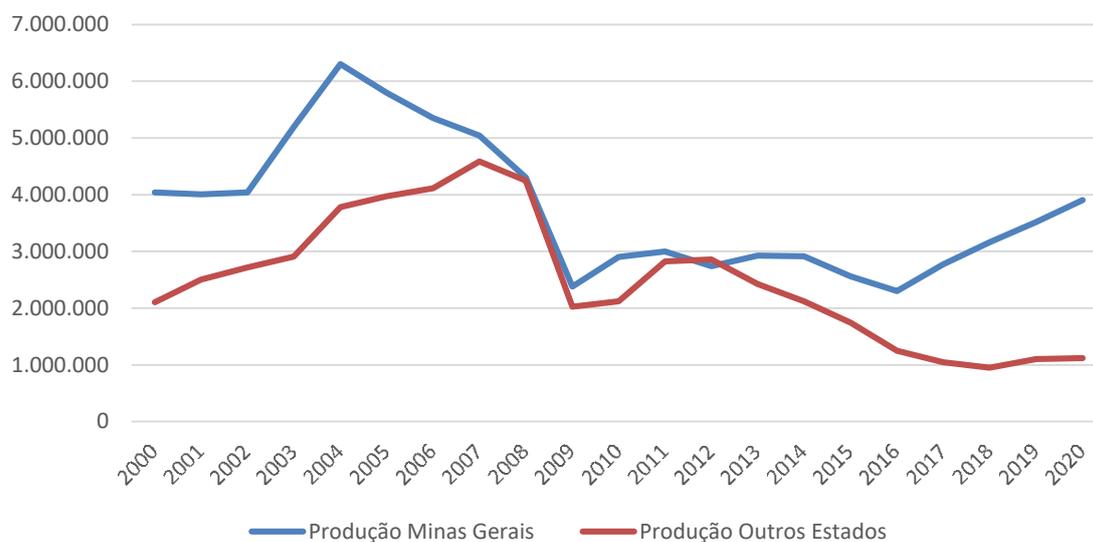
Diferente de outros produtos siderúrgicos, o ferro gusa comercial utiliza como forma de combustível para sua fusão o carvão vegetal, sendo considerado forma mais ecológica do que a utilização do coque de carvão mineral. De acordo com Ferreira (2006), com a tendência de crescimento dos preços das fontes energéticas derivadas do petróleo, o uso do carvão vegetal é uma solução para se mantenha os baixos preços, além das contribuições sociais advinda de seu uso. A produção de carvão vegetal emprega numerosa mão de obra não especializada, ocupa terras de valor marginal e gera empregos em regiões onde as opções de emprego não são particularmente favoráveis ao trabalhador.

Pelos dados de 2016 do Sindicato de Indústria de Ferro no Estado de Minas Gerais (SINDIFER), comento no setor florestal, a produção de ferro gusa a base de carvão vegetal gerou 50.360 empregos, sendo que os empregos no setor das usinas foram iguais a 20.235, demonstrando que o impacto social está muito mais no setor produtivo do insumo da produção do ferro gusa do que na produção do ferro gusa, propriamente dito (CIFLORESTAS, 2018).

Diante fatores históricos, como as primeiras instalações fabris do Brasil, e fatores naturais, como a grande presença de produtos naturais e plantações de eucaliptos em território estadual, Minas Gerais sempre foi um foco produtivo nacional do ferro gusa (SINDIFER, 2017).

Analisando os dados dispostos na figura 01, se conclui a importância do estado com relação a produção de ferro gusa. Concentrando, para o ano de 2020, 77% de toda a produção de guseiros independentes no território nacional, possuindo os principais centros de guseiros independentes do Brasil na produção deste bem.

**Figura 1: Produção de Ferro Gusa Comercial em Minas Gerias x Outros Estados (Toneladas)**



Fonte: Sindifer (2022)

A produção de ferro gusa no estado de Minas Gerais representa, em média, 63% de toda a produção brasileira entre 2010 até 2020 (SINDIFER), destacando o estado em um ponto central em qualquer análise da produção deste bem. A commodities é utilizada como insumo na produção de ferro forjado, ferro fundido e do aço, bens de extrema importância para o setor metalúrgico e suas derivações. Esta atividade econômica representou 12,9% da balança comercial nacional em 2011 (IABr), além de contribuir para manutenção das instituições públicas. Somente no ano de 2020, a indústria produtora de ferro gusa contribuiu com R\$389 milhões de reais para os cofres públicos, entre arrecadação de ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) para o estado de Minas Gerais (R\$ 154 milhões) e impostos federais pelo IPI (Imposto sobre Produto Industrializado), PIS (Programa de Integração Social) e COFINS (Contribuição para Financiamento de Seguridade Social) (SINDIFER,2021).

Atualmente, o Brasil é o nono maior exportador de produtos de ferro acabados e semiacabados em todo o mundo (World Steel Association,2022), destacando-se no mercado global pela sua grande produção interna e capacidade de exportação, além de seu consumo interno alto, fato confirmado pela não importação do ferro gusa e outros componentes utilizados na fabricação desses bens. Além da exportação de produtos de ferro, ocorre a exportação do próprio ferro gusa, insumo que tem sua produção capaz de abastecer o mercado interno e o externo. Desta forma, pelo seu vínculo com o mercado internacional, sua produção está correlacionada ao preço internacional do bem, além da própria balança cambial.

Os guseiros, aqueles que produzem ferro gusa, se caracterizam por uma grande pulverização, existindo diversos produtores em partes do país atuando de forma independente, concentrando-se em Minas Gerais e na região Nordeste do país. Esta dispersão prejudica a relação dos agentes do setor, fazendo com que o nível produzido se torne algo não regular e varie o preço através desta oferta em abundância, alterando também as legislações com relação a sua produção e o impacto ambiental existente em tal processo. Tais ações alteram todo o mercado produtor, variando a produção e as expectativas com relação a elas (SINDIFER, 2016).

Outro fator que torna a produção dos guseiros ato interessante de se analisar são os outros bens utilizados na fabricação do aço. A sucata e o ferro esponja também podem ser utilizados para fabricar aço, fazendo com que o ferro gusa possua um preço competitivo para que assim não seja substituído por esses outros materiais, tanto no seu comércio interno quanto na exportação. (CUNHA, 2006)

Com o objetivo de enriquecer o conhecimento sobre a produção de ferro gusa do estado de Minas Gerais, este estudo tem como objetivo melhor quantificar sua produção futura para dar assistência aos agentes econômicos impactados por essa cadeia produtiva.

## **2.2 A Produção de Minas Gerais**

Analisando a estrutura produtiva do estado de Minas Gerais, foi encontrado uma grande participação do setor de extração em seu Produto Interno Bruto (PIB) no ano 2000 (Sousa e Cardozo, 2013), sendo que o setor da Metalurgia Básica teve uma importância maior nos anos subsequentes, possuindo um aumento no número de empresas do setor e outros fatores demonstrados no estudo. Segundo os autores, os setores que mais contribuem para o valor da transformação industrial (VTI), foi o grupo onde a produção de ferro gusa está, Bens hereditário em Metalurgia Básica, os que mais contribuíram para o grupo da Indústria de Transformação (32,58%). No trabalho de Veríssimo e Araújo (2016) é constatado o avanço da atividade extrativa, sendo mais representativa para a riqueza estadual, devido a desindustrialização vivida pelo estado. Setores com um investimento fixo alto, como os alto fornos, se transformam em agentes principais da economia mineira, reforçando a importância da indústria para o sustento do mesmo.

De acordo com a Sindifer (2021), no ano de 2020 o estado de Minas Gerias possuía 43 usinas de ferro gusa comercial em operação com uma capacidade produtiva total de 5.4 milhões de toneladas por ano. Com tamanha capacidade produtiva, o estado utilizou 72% de sua

capacidade instala, chegando ao valor comercializado de 3.9 milhões de toneladas produzidas de ferro gusa comercial.

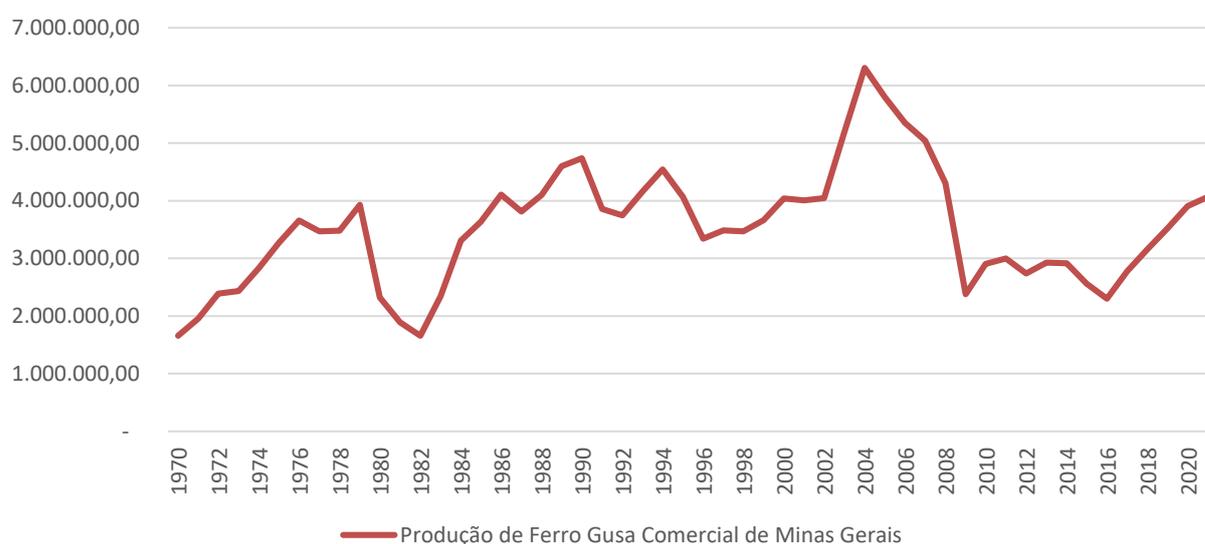
Os principais polos produtivos de ferro gusa estão localizados nos municípios de Sete Lagoas – MG, possuindo a capacidade produtiva de 2.6 milhões de toneladas por ano, e Divinópolis – MG, capacidade de 474 mil toneladas por ano. Somente esses dois municípios concentram 58% de toda a capacidade produtiva de Minas Gerais (SINDIFER, 2020).

Entre os custos da produção do ferro gusa, o principal fator a ser citado é o custo do carvão vegetal, que compõe 40% do custo total do produto, porém, dentre seus bens substitutos, o coque e a sucata, este é aquele que apresenta o menor custo (Ministério de Minas e Energia, 2009).

No ano de 2020, o setor produtor de ferro gusa de Minas Gerais emprega 9.550 pessoas de forma direta e 23.875 de forma indireta, porém, se somarmos o setor de implementação e manutenção de floresta e a produção e transporte de carvão vegetal, o setor, de forma total, emprega mais de 112 mil pessoas, número 9% superior ao registrado no anterior. (SINDIFER; 2021)

Abaixo, na figura 2, tem-se o histórico de produção de ferro gusa comercial do estado de Minas Gerais:

**Figura 2: Produção de Ferro Gusa Comercial em Minas Gerais (Toneladas)**



Fonte: Sindifer (2022)

De acordo com os dados apresentados acima, tem-se como pontos de análises os ano de 1980 até 1982, quando a produção consegue alcançar o maior volume de sua história, até então, de 3.9 milhões de tonelada em 1979 e volta a produção de 1.6 milhões de toneladas ao ano em 1982, mesmo valor registrado no início de sua história, em 1970; os anos de 2002 até 2004

apresentam as maiores taxas de crescimento de toda a história, crescendo 56% em apenas dois anos, atingindo seu recorde histórico; e a queda de 2008 a 2009 com a retomada do crescimento em 2017.

De acordo com a Sindifer (2022), o comportamento da série histórica entre 1977 até 1982 é explicado pela grande expansão da siderurgia devido aos avanços tecnológicos no início dos anos 70 incorporados pela indústria nacional, como exemplo a possibilidade de moldar os lingotes de ferro em formato de carrossel, causando um crescimento da produção de 113% entre 1977 até 1979, porém, devido a crises econômicas e bolhas de recessões vividas pelos principais países consumidores, fazem com que a produção caia 42% entre 1980 até 1982.

De acordo com Malard (2009), o crescimento de 2003 e 2004 e a queda de 2008 podem ser explicados pelo mesmo fator. No ano de 2003 e 2004 o mercado consumidor de ferro gusa internacional passava por ótimos momentos, com o preço internacional de US\$950 por tonelada, os produtores locais foram estimulados a investir na expansão da mão de obra e da capacidade produtiva do setor, colocando em operação fornos que antes estavam desativados, porém, com o aumento da oferta do produto e com a crise econômica mundial configurada em 2008, o preço da tonelada chega a valer US\$260, com isso, diversos fornos voltam a ser desligados e toda a capacidade produtiva de ferro gusa volta a valor de 1983, uma queda na produção de 62% de 2004 a 2009.

O crescimento atual do setor, presenciado em 2017 e vigente até o último dado disponível em 2021, ocorre devido ao aumento da demanda externa do ferro gusa nacional. Com o crescimento da demanda dos Estados Unidos e da China como grandes consumidores, a produção de ferro gusa comercial apresenta crescimento médio de 12% ao ano desde 2017, reativando fornos que estavam desligados desde 2008, de acordo com o Anuário da Sindifer (2017).

De modo geral, por se tratar de um alto investimento, os guseiros não desfazem seus altos-fornos, porém, como eles possuem elevados custos de se manter funcionando, eles desligam e esperam por algum aumento da demanda, principalmente externa, para que eles reativem seus ativos.

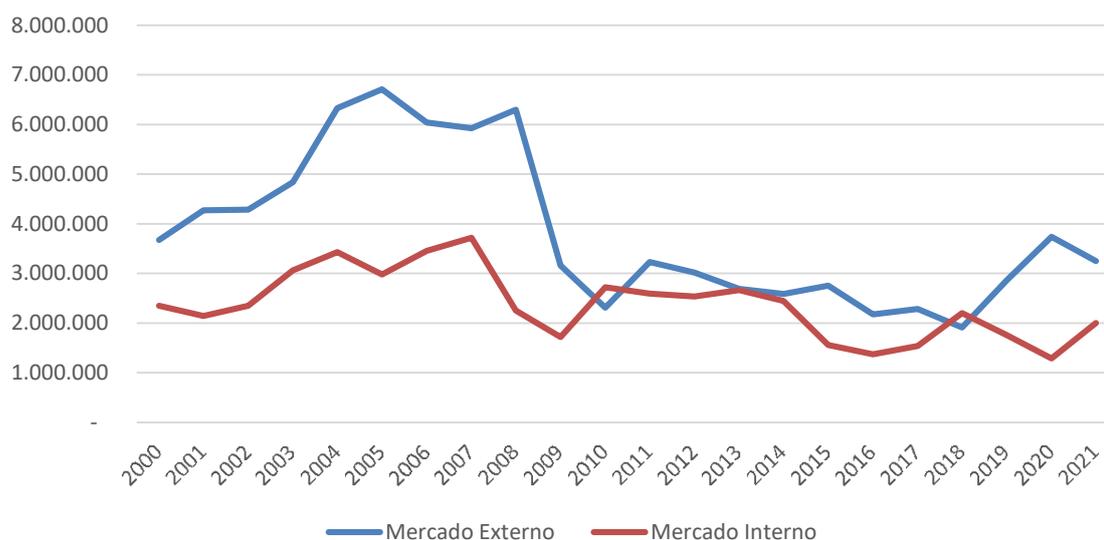
### **2.3 Mercado Consumidor de Ferro Gusa Comercial Mineiro**

Atualmente, de acordo com os dados gerais da produção nacional de ferro gusa comercial, o principal consumidor é o mercado externo, consumindo um volume 190% maior do que o direcionado ao mercado interno. No ano de 2020, 74% de todo volume comercializado foi

direcionado para o mercado internacional (3.7 milhões de toneladas) e o restante para alimentar as usinas em território nacional (1.3 milhões de toneladas) (SINDIFER, 2021).

Abaixo, na figura 03, está o histórico de comercialização do ferro gusa comercial produzido em todo território nacional.

**Figura 3: Comercialização do Ferro Gusa Comercial Nacional (Toneladas)**

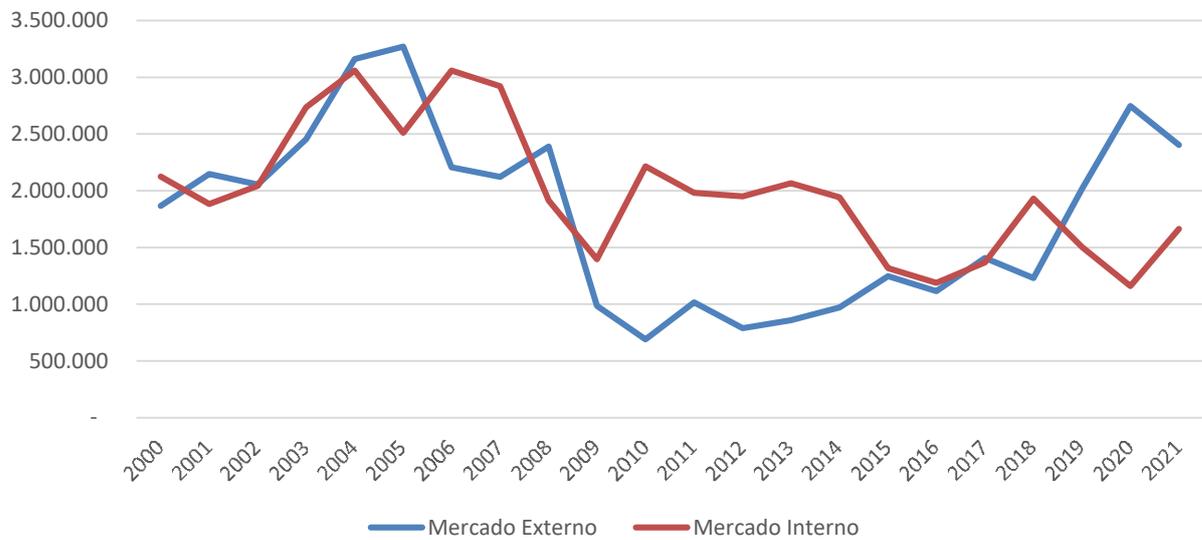


Fonte: Sindifer (2022)

Percebe-se que os anos de 2010 e 2018 foram aqueles que apresentaram uma comercialização maior no mercado interno. De acordo com a SINDIFER (2019), com a entrada dos fornos/usinas que antes estavam de “stand by” devido ao melhor preço internacional, o mercado externo não conseguiu incorporar toda a produção, fazendo que o produto fosse comercializado internamente em oposição a desativar os fornos. De acordo com a SINDIFER (2022), o movimento de retração no mercado externo para 2021 ocorreu devido a pandemia e devido à ausência da China como principal comprador, demanda que impulsionou o ano de 2020.

Abaixo está a figura 04, o histórico de comercialização do ferro gusa comercial produzido em Minas Gerais:

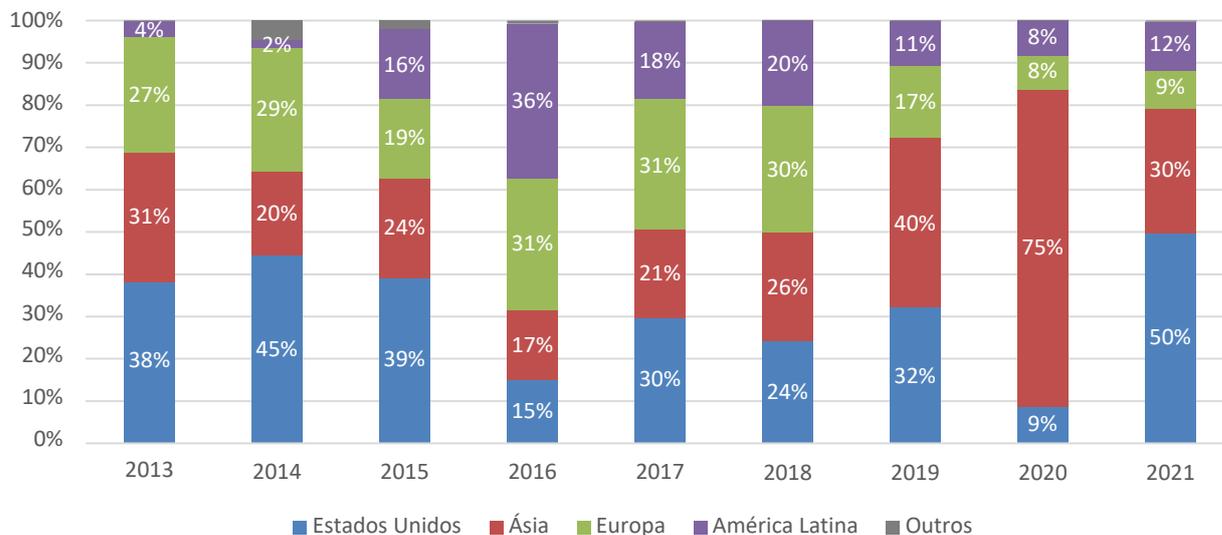
**Figura 4: Comercialização do Ferro Gusa Comercial de Minas Gerais (Toneladas)**



Fonte: Sindifer (2022)

De acordo com SINDIFER (2022), a distribuição usual da comercialização do ferro gusa é 50% para o mercado externo e 50% para o mercado interno e, devido aos aumentos dos custos dos insumos de produção do ferro gusa e a saída da China como principal compradora, o mercado está se estabilizando neste equilíbrio apresentando mínimos crescimentos gerais de produção, como apresentado pelo comportamento da comercialização do ferro gusa mineiro.

Abaixo, na figura 05, tem-se a participação dos principais consumidores do ferro gusa comercial de Minas Gerais:

**Figura 5: Participação dos Principais Importadores (participação %)**

Fonte: Sindifer (2022)

O aumento repentino do consumo asiático no ano de 2020 é explicado pelo desaquecimento do mercado interno devido o distanciamento social e outras medidas de combate ao corona vírus, realocando a produção interna para o mercado internacional, também incentivados pelo alto valor do câmbio real/dólar (BIANCHETTI, 2021).

Apresentadas algumas das características do mercado de aço e ferro, a seguir é apresentada a metodologia que será utilizada para projeção da produção de ferro gusa comercial de Minas Gerais. Os resultados de sua aplicação serão utilizados para descrever um cenário futuro do mercado de guseiros independentes de Minas Gerais e as suas consequências mercadológicas.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Séries Temporais e Processos Estocásticos

Segundo Souza & Camargo (1996), uma série temporal são observações de uma, ou várias, variáveis ordenadas no tempo em intervalos iguais, na maioria dos casos. Se  $Y_t$  representa o valor da variável  $Y$  no instante  $t$ , a série temporal se apresentará por  $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$  onde  $N$  é o número de observações sequenciais da variável disponíveis. Para as séries temporais discretas, os intervalos entre os dados ocorrem em distribuições diárias, semanais, mensais e anuais.

Um processo estocástico é a coleção de variáveis aleatórias que, em um período no tempo, apresentam evoluções no decorrer do período que respeitam leis de probabilidade, assim sendo, um modelo que descreva e estructure as probabilidades de uma coleção de variáveis ao decorrer do tempo é denominado um processo estocástico. Um processo estocástico é uma família  $Y = \{Y(t), t \in \mathbb{R}\}$  tal que para cada  $t \in \mathbb{R}$ ,  $Y(t)$  é uma variável aleatória.

Então, com uma série temporal discreta, onde  $N \equiv Y = \{1, 2, \dots, t\}$ , e contínua,  $N \in \mathbb{R}$ , o  $Y(t)$ , denotação do valor de  $Y$  no período  $t$ , consegue ser reproduzido em condições idênticas pelo processo estocástico. Uma série temporal passa a ser uma amostra do processo estocástico existente para a reprodução de  $Y(t)$ .

O estudo de uma série temporal consiste, de modo geral, em: através do estudo (análise de séries temporais) de uma amostra finita de observações (série temporal) de um evento real (processo estocástico), um modelo é percebido conseguindo inferir sobre a realidade (modelo estocástico)

No caso específico do presente trabalho, o objetivo é estudar e utilizar métodos de análises de séries temporais que serão utilizados para alcançar o modelo estocástico existente. Dois métodos que se baseiam somente nos valores passados da amostra, os autoprojetivos (Amortecimento Exponencial e Box & Jenkins Univariado) e um método que leva em conta outras informações possivelmente relevantes para a previsão da variável, o causal (Regressão Dinâmica), serão utilizados e, através da competição de métodos, um modelo vencedor será utilizado para gerar previsões da produção de ferro gusa comercial em Minas Gerais para os anos de 2022 até 2024. Os métodos de análises de séries temporais utilizados serão apresentados logo abaixo.

### 3.2 Método Amortecimento Exponencial (MAE)

A maioria dos métodos de previsão se baseiam na ideia de que observações passadas possuem informações sobre o padrão de comportamento da série temporal. (Souza & Camargo, 2004)

Os métodos de amortecimento, ou suavização, são formas estatísticas de se ponderar o comportamento dos dados do passado com relação ao último dado disponível, fazendo com que o futuro reflita o presente e o passado, mesmo se houver um número pequeno de observações.

De acordo com Zanini (2014), o Método de Amortecimento Exponencial (MAE) é utilizado com séries temporais quando o presente é ponderado por  $\alpha$  e o passado é ponderado por  $1-\alpha$ , desta forma, os parâmetros do passado são ressignificados a medidas que novos dados são adicionados.

O modelo capta três fatores característicos da série de dados: o nível, a tendência e a sazonalidade; com cada uma dessas características captadas por parâmetros e a constante de amortecimento ( $\alpha$ ) ponderando os dados. A modelagem é feita captando tais características em uma função matemática, o modelo estocástico.

Para uma série temporal  $Y_1, Y_2, \dots, Y_T$ , de tamanho  $T$ , sem alteração significativa no seu nível ao longo do tempo, pode ser expressada da seguinte forma:

$$Y_t = a(T) + \varepsilon_t \quad (3.2.1)$$

em que  $Y_t$  representa a venda no período  $t$ ,  $a(T)$  é o representativo do nível no instante  $T$  e  $\varepsilon_t$  representa o erro de previsão e  $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ .

O foco é reestimar os parâmetros do modelo na medida que novos períodos de tempo sejam incorporados, captando as informações mais recentes. Uma estimativa atualizada do nível de venda,  $\hat{a}(T)$ , pode ser representada da seguinte forma:

$$\hat{a}(T) = \hat{a}(T - 1) + \alpha[Y(T) - \hat{a}(T - 1)] \quad (3.2.2)$$

sendo a informação passada representada por  $\hat{a}(T-1)$  e o erro da previsão sendo  $\varepsilon_t = Y(T) - \hat{a}(T - 1)$ , é possível simplificar a notação onde  $\hat{a}(T) \equiv S_t$ . Reescrevendo a equação (3.2.2) tem-se que:

$$S_t = \alpha * Y_t + (1 - \alpha) * S_{t-1} \quad (3.2.3)$$

A equação acima demonstra a ideia central do Método de Amortecimento Exponencial, indicando que para atualização do parâmetro “a”, representando o nível, será utilizado uma combinação convexa, um peso  $\alpha$  para representar o presente, o último dado, e  $(1 - \alpha)$  para o passado, denominando  $\alpha$  como constante de amortecimento.

Séries que apresentam tendência e sazonalidades podem ser captadas pelo método. A equação de previsão para uma série que apresenta nível, tendência e sem sazonalidade é representada da seguinte forma:

$$\hat{Y}_T(\tau) = \hat{a}_1(T) + \tau \cdot \hat{a}_2(T) \quad (3.2.4)$$

Para a captação do nível e da tendência, são necessários duas constantes de amortecimento,  $\alpha$  e  $\beta$  respectivamente, para atualizar os parâmetros  $\hat{a}_1$ , representando o nível, e o  $\hat{a}_2$ , representando a tendência, sendo  $\tau$  representa o horizonte de previsão. Este modelo é conhecido como Modelo de Holt ou modelo de suavização dupla.

Para séries que apresentam variação de nível, tendência e sazonalidade, o modelo a ser utilizado é o modelo de Holt-Winters, sendo que as variações de sazonalidades podem ser multiplicativas, com amplitudes que tendem a crescer com o tempo, ou aditivas, amplitudes similares ao decorrer do tempo. A equação do modelo de Holt-Winters é apresentada da seguinte forma:

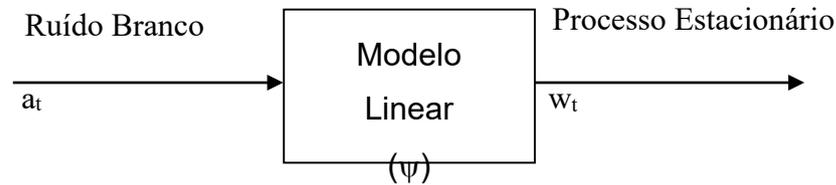
$$\hat{Y}_t(\tau) = (\hat{\alpha}_1(T) + \tau * \hat{\alpha}_2(T)) \hat{\rho}_{m(T+\tau)} \quad (3.2.4)$$

Nessa equação temos as constantes de amortecimento atualizando os fatores de nível ( $\hat{\alpha}_1$ ) sendo atualizada por  $\alpha$ , tendência ( $\hat{\alpha}_2$ ) atualizada por  $\beta$ , acompanhada da variável  $\tau$  que significa o horizonte de projeção, e o novo fator representando a sazonalidade ( $\hat{\rho}$ ) referente ao período de tempo t. A variável T representa os dados do presente.

### 3.3 Método Univariado de Box & Jenkins (MBJ)

De acordo com Gujarati e Porter (2011), o Método de Box & Jenkins (MBJ), também conhecido como metodologia ARIMA, é uma abordagem a forma estatística onde se identifica o modelo apropriado para a série, estima-se os parâmetros baseando-se nos valores passados, no valor atual menos termos de erro estocásticos.

De acordo com Zanini (2014), o modelo de Box & Jenkins tem seu fundamento teórico na Teoria Geral de Sistema Lineares que diz que um processo estacionário de segunda ordem<sup>1</sup> é gerado pela passagem de um ruído branco por um filtro linear de memória infinita.



Definindo um operador de atraso “B” (*backward shift operator*)

$$B_k Y_t = Y_{t-k}$$

Tem-se que:

$$w_t = a_t - \Psi_{1at}B - \Psi_{2at}B^2 - \dots$$

$$w_t = (1 - \Psi_1 B - \Psi_2 B^2 - \dots) a_t = \Psi(B) a_t$$

$$w_t = \Psi(B) a_t \Leftrightarrow a_t = \Psi(B)^{-1} w_t$$

Sendo que:

$$\Psi(B)^{-1} = \pi(B)$$

onde  $\pi(B) = 1 - \pi_1 B - \pi_2 B^2 \dots$

Como  $\Psi(B)$  [ou  $\pi(B)$ ] possuem infinitos parâmetros, causando um problema, Box & Jenkins usam o fato de que, sob certas restrições, todo polinômio infinito pode ser expresso pelo quociente de dois polinômios finitos.

Então:

$\Psi(B) = \theta(B) / \phi(B)$ , onde:

$$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q \Rightarrow \text{Polinômio MA (q)}$$

---

<sup>1</sup> Em termos gerais, processo estacionário de 2ª ordem é um processo estocástico com média e variância constantes.

$$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p \Rightarrow \text{Polinômio AR (p)}$$

Desta forma, surgem os denominados Modelos ARMA (p,q) que assumem a seguinte forma:

$$\varphi(B)w_t = \theta(B)a_t \quad (3.3.1)$$

Porém, para séries não estacionárias na média, a estacionariedade é produzida através da diferenciação da série original, alcançando uma série não estacionária homogênea<sup>2</sup>. Logo, se  $Y_t$  é uma série não estacionária, procurar-se transformá-la na série  $X_t$  não estacionária homogênea. Então:

$$X_t = Y_t - Y_{t-1} = Y_t - BY_t = (1 - B)Y_t = \nabla Y_t \quad (3.3.2)$$

Em que:  $\nabla = (1 - B)$  é o operador diferença.

Isso significa que serão aplicadas “d” (d=0, 1, 2, ...) <sup>3</sup> diferenças na série original para produzir uma estacionariedade (na média) da série resultante:  $w_t = \nabla^d Y_t$ . Desta forma, os modelo ARIMA(p,d,q) surgem assumindo a seguinte forma:

$$\varphi(B)\nabla^d Y_t = \theta(B)a_t \quad (3.3.3)$$

Sendo assim, para utilização dos modelos BJ, é necessário que a série apresente estacionariedade, sendo que se esta não possuir tal característica, será necessário induzir tal comportamento. Desta forma, o modelo é definido como um ARIMA dependendo de suas médias, sua dependência aos dados anteriores, sua estacionariedade e o número de diferenciações realizadas, podendo ser um SARIMA caso apresentar sazonalidade. (JENKINS et al., 1976).

De acordo com Zanini (2014), o modelo de Box and Jenkins tem como fundamento o princípio da parcimônia, escolhendo o melhor modelo com o menor número de parâmetros possíveis para uma modelagem adequada, e o ciclo iterativo na construção do modelo, selecionando um modelo satisfatório dentre vários. Com isso, a metodologia de Box and Jenkins consegue validar o modelo desde a identificação da estrutura do modelo, estimação paramétrica e, por fim, vários testes de validação do modelo.

---

<sup>2</sup>A não estacionariedade homogênea exclui os processos de comportamento explosivos e/ou altamente não-lineares (Souza & Camargo, 1996).

<sup>3</sup> Na prática, normalmente o grau máximo de diferenciação é 2.

O primeiro passo metodológico tem como objetivo identificar a ordem de homogeneidade “d” que a série original deva passar para se tornar uma série estacionário, caso seja necessário. Como segundo passo, são analisados os correlogramas de autocorrelação (FAC) e autocorrelação parcial (FACP) para identificação da ordem (identificação de p e q). No Quadro 2 abaixo está o resumo das características das funções AR(p), MA(q) e ARMA(p,q):

**Quadro 2: Resumo das características teóricas da FAC e da FACP dos modelos AR(p), MA(q) e ARMA(p,q)**

| Modelo    | Função de autocorrelação ( $\rho_k$ )                                | Função de autocorrelação parcial ( $\varphi_{kk}$ )                |
|-----------|--|--|
| AR(p)     | Infinita<br>(Exponencial e/ou senóides amortecidas)                  | Finita<br>(corte para 0 após o lag "p")                            |
| MA(p)     | Finita (Corte para 0 após o lag "q")                                 | Infinita<br>(Exponencial e/ou senóides amortecidas)                |
| ARMA(p,q) | Infinita<br>(Exponencial e/ou senóides amortecidas após o lag "q-p") | Infinita<br>(Exponencial e/ou senóides amortecidas após lag "p-q") |

Fonte: Alexandre Zanini, 2014.

Após identificação da ordem do modelo, os parâmetros são estimados através da técnica de máxima verossimilhança e os testes de aderência são efetuados para verificar a adequação final do modelo, nestes testes, encontram-se o teste para resíduos (se o resíduo gerado pelo modelo não apresente correlação com o modelo, sendo o erro um ruído branco) e os testes de sobrefixação (gerar modelos de ordens superiores para atestar a pertinência do selecionado).

Quando as séries temporais apresentam sazonalidade, tem-se o modelo SARIMA (p, d, q)×(P, D, Q), que permite fazer a diferenciação de ordem sazonal D de uma série temporal. Neste caso, a modelagem segue a equação:

$$\varphi(B)\Phi(B^S)\nabla_S^D\nabla^d Z_t = \theta(B)\Theta(B^S)a_t \quad (3.3.4)$$

o qual:  $\phi(B)$  é o operador não sazonal auto-regressivo;  $\phi_i$  são os parâmetros auto-regressivo não-sazonais;  $\nabla^d=(1-B)^d$  é o operador de diferença não sazonal de ordem d;  $\Phi(B^S)$  é o operador sazonal auto-regressivo;  $\Phi_i$  são os parâmetros auto-regressivos sazonais;  $\nabla_S^D=(1-B^S)^D$  é o operador de diferença sazonal de ordem D;  $\theta(B)$  é o operador não sazonal de médias móveis;  $\theta_i$  são parâmetros de médias móveis não sazonais;  $\Theta(B^S)$  é o operador sazonal de médias móveis;  $\Theta_i$  são os parâmetros de médias móveis sazonais.

### 3.4 Método de Regressão Dinâmica (MRD)

De acordo com Johnston e Dinardo (1998), os modelos de regressão linear estudados comumente na literatura, supõe-se que os erros “gerados” pelo modelo possuem algumas características como: média zero, variância constante, distribuição normal e independência, implicando, assim, na inexistência de correlação serial.

Porém, segundo Barros e Souza (1995), a hipótese de independência dos ruídos não é realista, fazendo com que os resultados e testes usados nos modelos de regressão não sejam válidos. Essa autocorrelação dos resíduos causa a ausência de uma variância mínima dos estimadores, os estimadores de variância e dos erros padrões são subestimados, causando uma falsa impressão de assertividade, mas que efetivamente faz com que os parâmetros e testes de hipóteses relacionados a esses intervalos percam a validade.

Desta forma, os modelos de regressão dinâmica devem ser utilizados quando existir uma relação de dependência entre a variável de interesse e variáveis causais e, de forma conjunta, quando a estrutura de correlação da série dependente (série a ser explicada) indicar que não podemos supor a independência dos erros (ZANINI; SOUZA; PEDREIRA, 2000).

No método de Regressão Dinâmica, os parâmetros são calculados através do método de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), como é feito normalmente. Porém, em modelos de regressão dinâmica, sua estimação é mais complicada, envolvendo um processo iterativo com diversos estágios. Nos modelos de regressão dinâmica, os valores defasados da variável dependente e os valores passados e atuais das variáveis exógenas, ou causais, explicam a variável dependente (ZANINI; SOUZA; PEDREIRA, 2000). Os modelos de Regressão Dinâmica podem ser descritos pela equação:

$$\phi(B)Y_t = \beta x_t + \varepsilon_t \quad (3.4.1)$$

$Y_t$  representa a variável dependente no instante  $t$ ;  $\beta$  representa o vetor de coeficiente das variáveis exógenas explicativas utilizadas no modelo que será estimado por mínimos quadrados, sendo  $x_t$  o vetor dessas variáveis; e  $\varepsilon_t$  é o ruído aleatório associado ao modelo no período  $t$ , supondo que os  $\varepsilon_t$  são independentes e identicamente distribuídos com densidade  $N(0, \sigma^2)$ ;  $\phi(B)$  representa o polinômio autoregressivo de ordem  $p$ .

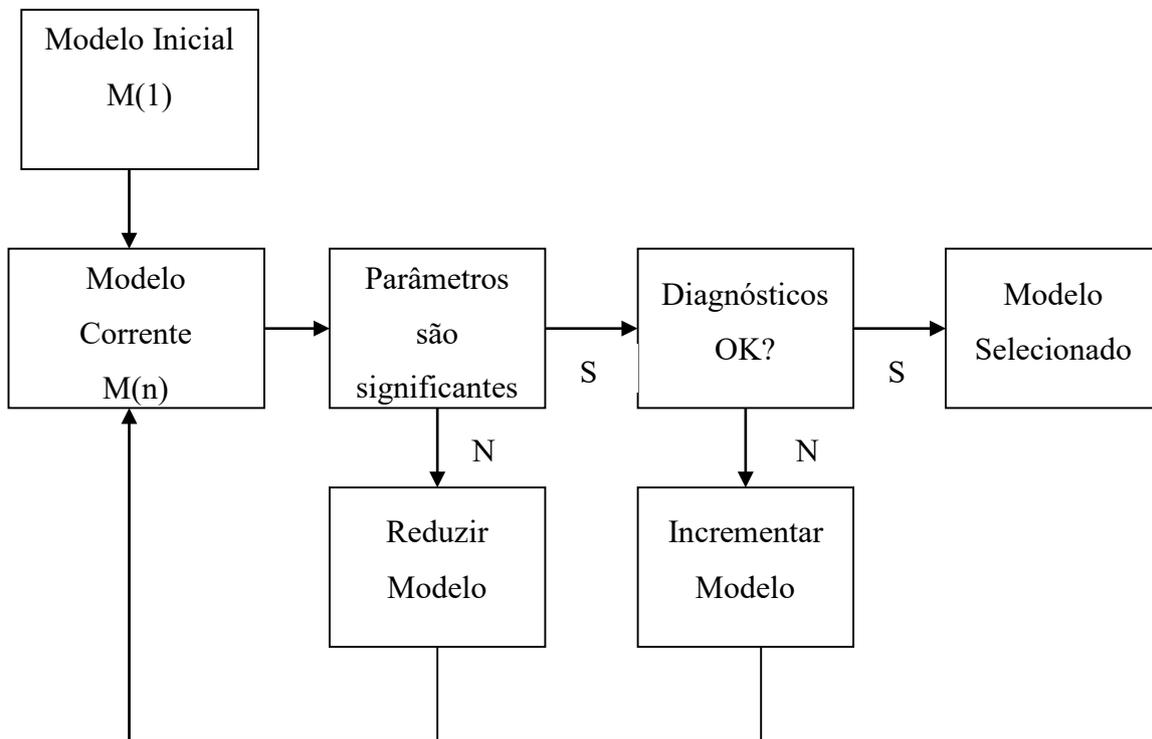
Para construção do modelo de regressão dinâmica, a construção passa pela estratégia “*bottom-up*”: partindo da construção de um modelo mais simples e o refinando com a adição

de novas variáveis até encontrar o modelo adequado. Esse processo é muitas vezes dificultado pois, é preciso escolher as variáveis a serem escolhidas além de compreender os *lags* (defasagens) destas variáveis.

Vários testes são feitos para que o modelo final na metodologia da regressão dinâmica seja construído. Esses testes são aplicados em diversos estágios da modelagem da série. Temos testes para definir a especificação do modelo explicativo, testes para incluir, ou não, uma variável defasada, testes sobre a correlação dos erros (ajuste do modelo), entre outros.

Abaixo, na figura 06, está o fluxograma indicando, de maneira genérica, os passos para a construção de um modelo de Regressão Dinâmica:

**Figura 6: Construção de um modelo de Regressão Dinâmica**



Fonte: ZANINI (2014).

### 3.5 Competição de Métodos

Como dito anteriormente, este trabalho promoverá uma competição entre as três metodologias utilizadas, comparando o melhor modelo de cada metodologia, sendo elas: Método Amortecimento Exponencial (MAE), Método Box & Jenkins (MBJ) e Método de Regressão Dinâmica (MRD).

As análises fora da amostra (*out-of-sample*) e dentro da amostra (*in-sample*) serão utilizadas para escolha do melhor método de previsão. Isso significa que parte dos dados são selecionados (por exemplo, os últimos 3 anos) para validar o poder preditivo dos modelos ajustados com os dados restantes. Desta forma, analisar-se-á o poder de previsão dos modelos dentro e fora do período amostral.

A avaliação recursiva fora da amostra (*out-of-sample rolling evaluation*) também será feita para escolha do melhor método. Neste procedimento, são feitas previsões para cada origem, movendo-a no período fora da amostra, com os mesmos parâmetros estimados para os dados passados. Caso sejam retirados os 3 últimos dados<sup>4</sup>, isto significa que serão feitas no período *out-of-sample* um total de 6 previsões (3 previsões para um passo (ano) à frente, 2 previsões para 2 passos à frente e 1 previsões para 3 passos à frente). Pode-se definir como critério, por exemplo, que o método vencedor a ser selecionado será aquele que minimizar o MAD (*Mean Absolute Deviation*) acumulado ou erro médio absoluto acumulado fora da amostra.

Para melhor compreensão do procedimento de *rolling evaluation*, observar a figura 07 a seguir:

---

<sup>4</sup> Obviamente retirar os últimos dados é apenas um procedimento de análise para seleção de modelos. Para se obter as previsões desejadas, depois de feita análise *in-sample* e *out-of-sample*, os dados retirados são novamente incorporados e os parâmetros atualizados.

**Figura 7: Procedimento de *out-of-sample rolling evaluation***

|               |      | 2019     | 2020     | 2021     |
|---------------|------|----------|----------|----------|
| <i>ORIGEM</i> |      | <b>A</b> | <b>A</b> | <b>A</b> |
|               | 2018 | <b>F</b> | <b>F</b> | <b>F</b> |
|               | 2019 | <b>A</b> | <b>F</b> | <b>F</b> |
|               | 2020 | <b>A</b> | <b>A</b> | <b>F</b> |
|               |      |          |          |          |

Fonte: Elaboração Própria adaptado de Zanini (2014)

Nota: F = Forecast (previsão); A = *Actual* (dado real).

Com as previsões *out-of-sample*, diversas métricas de desempenho podem ser mensuradas como, por exemplo, o MAPE (*Mean Absolute Percentual Error*) e o MAD (*Mean Absolute Deviatio*) para cada horizonte de previsão e de forma acumulada, o GMRAE (*Geometric Mean Relative Absolute Error*) que compara o erro do modelo selecionado com o erro do modelo ingênuo (último dado disponível como previsão). O GMRAE é a média geométrica da razão (quociente) entre o erro absoluto (portanto, em módulo) do modelo estimado e o erro absoluto do método ingênuo, repetindo o último dado para todas as projeções. Portanto, é desejável que o GMRAE seja igual ou menor do que 1.

É importante ressaltar que incorpora-se novamente os dados retirados à amostra, atualiza-se os parâmetros e faz-se as projeções utilizando o modelo feito com o método ganhador. Em síntese, a análise *in-sample* e *out-of-sample* é apenas um procedimento que visa definir o melhor dentre dois ou mais métodos de previsão.

## 4. ANÁLISE DE DADOS E RESULTADOS

### 4.1 Banco de Dados

A base de dados utilizada no estudo será um compilado de diversas fontes, com o intuito de melhor detalhar todas as variáveis que influenciam na produção do setor.

A variável da produção de gusa de mercado pelo estado de Minas Gerais por ano será obtida pelo Sindicato da Indústria de Ferro do Estado de Minas Gerais (SINDIFER), órgão especializado na captação desses dados e porta-voz de todo o setor produtor.

Como variáveis explicativas para o modelo causal, o MRD, tem-se os dados do Banco Mundial para o crescimento percentual do produto interno bruto (PIB) dos Estados Unidos, China e Brasil; a taxa de câmbio média anual entre os anos de 1994 até 2021 e o IGP-M acumulado anualmente entre os anos de 1989 até 2021 foram retirados do Banco Central do Brasil e a produção de aço no Brasil foi captada no Instituto Aço Brasil entre os anos de 1970 até 2021.

Somente a variável de produção do aço foi autoprojeteada para seus valores futuros, sendo o restante sendo projetados pelas instituições de origem da informação e para a modelagem, o período de amostragem se restringiu aos períodos com dados para todas as variáveis, sendo os anos de 1994 até 2021. Ressalta-se, porém, que no MRD diferentes cenários podem ser criados.

Todos os dados serão apresentados na periodicidade anual, sendo essa o menor período de tempo entre as informações encontradas para utilização desse trabalho.

As variáveis a serem consideradas na modelagem podem ser vistas no quadro 3 abaixo:

**Quadro 3: Variáveis utilizadas nas análises e projeções**

| <b>Sigla</b> | <b>Descrição</b>  | <b>Proxy</b>                        | <b>Fonte</b>            |
|--------------|---|-------------------------------------|-------------------------|
| PRODMG       | Produção de Ferro Gusa Comercial de Minas Gerais                    | -                                   | SINDIFER                |
| CHINA        | Variação do PIB chinês dólar fixo 2015 – índice (2021 = 100)        | Demanda externa pelo ferro gusa     | Banco Mundial           |
| EUA          | Variação do PIB estadunidense dólar fixo 2015 – índice (2021 = 100) | Demanda externa pelo ferro gusa     | Banco Mundial           |
| BRASIL       | Variação do PIB brasileiro dólar fixo 2015 – índice (2021 = 100)    | Consumo interno de ferro gusa       | Banco Mundial           |
| CAMBIO       | Câmbio R\$/US\$ média anual   | Incentivo a comercialização externa | Banco Central do Brasil |
| IGPM         | Índice Geral de Preços – Mercado captando a inflação                | Custo de Produção do Ferro Gusa     | Banco Central do Brasil |
| PRODACO      | Produção Interna de Aço   | Consumo interno de ferro gusa       | Instituto Aço Brasil    |

Fonte: Elaboração própria

#### 4.2 Equações de Previsão Estimadas

Todas as modelagens foram realizadas com auxílio do software estatístico *Forecast For Windows* (FPW). Para a série de ferro gusa produzido em Minas Gerais através do Método de Amortecimento Exponencial (MAE), o modelo apresenta parâmetro de nível e apenas uma leve variação na tendência, se encaixando como um Modelo de Holt. Na tabela 01 abaixo estão os parâmetros estimados e os hiperparâmetros utilizados na sua estimação:

**Tabela 1: Parâmetro da projeção pelo método de Amortecimento Exponencial**

| <b>Componente</b> | <b>Parâmetro</b> | <b>Hiperparâmetro</b> |
|-------------------|------------------|-----------------------|
| Nível             | 4.066.800        | 0,99406               |
| Tendência         | 421,8            | 0,00009               |

Fonte: Elaboração própria

Aplicando os componentes encontrados na estrutura de um modelo de Holt, a modelagem apresenta a estrutura abaixo, descrita na equação 4.2.1:

$$Y_{\tau} = (4.066.800 + 421,8 * \tau) \quad (4.2.1)$$

Onde  $\hat{Y}_t$  é o volume produzido de ferro gusa em Minas Gerais no período  $\tau$  (horizonte de previsão); 4.066.800 é o parâmetro de nível (em toneladas); 421,8 é o parâmetro de tendência (em toneladas);  $\tau$  é o horizonte de previsão.

Para estimar o Modelo de Holt, vê-se que na estimação do parâmetro de nível, foi dado um peso (0,99) maior para o presente do que para o passado. Já para o parâmetro de nível acontece o contrário, ponderou-se mais o passado do que o presente.

Para a análise do desempenho preditivo do modelo, verificou-se: o  $R^2$  ajustado, que indica o quanto o modelo explica da variação do volume produzido por Minas Gerais de ferro gusa e o MAPE, indicando o quanto o modelo erra ao projetar um passo à frente, em média. Neste caso, o modelo explica 67,9% da variação e o MAPE indicou que ao projetar o ano seguinte, o modelo errou em média 13,07% para cima ou para baixo.

Utilizando a Metodologia Box & Jenkins (MBJ), o modelo estimado para a produção de ferro gusa de Minas Gerais foi um ARIMA (1,0,1). Abaixo está a tabela 02 com os valores calculados para os parâmetros e onde pode-se constatar a significância paramétrica ao nível de significância de 5% (portanto, Nível de Confiança de 95%):

**Tabela 2: Parâmetro da projeção pelo método de Box and Jenkins**

| Termo     | Coefficiente | P-valor* |
|-----------|--------------|----------|
| $\phi$    | 0,7568       | 1,0000   |
| $\theta$  | -0,4075      | 0,9943   |
| Constante | 856.612,3678 | -        |

Fonte: Elaboração própria. Nota: \*No FPW rejeita-se a hipótese nula quando o P-valor é  $\geq$  Nível de Confiança.

Abaixo, na equação 4.2.2, está representada a equação do modelo com os valores encontrados para cada um dos parâmetros:

$$Y_t = 856.612,3678 + 0,7568Y_{t-1} - 0,4075e_{t-1} + e_t \quad (4.2.2)$$

Com o nível de significância de 5%, todos os parâmetros se mostram significantes. O  $R^2$  ajustado do modelo demonstrou que ele é capaz de explicar 74,34% da variação da produção

de ferro gusa e o MAPE indicou que, ao projetar o ano seguinte, o modelo errou em média 11,92% para cima ou para baixo.

Para estimar o modelo através do Método de Regressão Dinâmica (MRD), diversas interações foram estudadas, utilizando a taxa de câmbio, índices de preços internos e outras variáveis econômicas. Como apresentado na metodologia, foram aplicados os testes de causalidade, dinâmica e erros estruturados.

Para o modelo final, na previsão da produção de ferro gusa mineiro utilizou-se como variáveis causais o IGP-M, a produção de aço brasileira e o câmbio praticado no período anterior, todas as variáveis no formato LOG-LOG, além do erro encontrado na previsão anterior. Abaixo, na tabela 03, consta a significância de cada um dos parâmetros e o coeficiente encontrado:

**Tabela 3: Parâmetro da projeção pelo método de Regressão Dinâmica**

| Variável   | Coefficiente | P-valor  |
|------------|--------------|----------|
| IGPM       | -0,481492    | 0,959208 |
| PRODACO    | 0,958434     | 1,000000 |
| CAMBIO(-1) | 0,401788     | 0,960095 |
| ERRO(-1)   | 0,759122     | 0,999979 |

Fonte: Elaboração própria

Com os parâmetros estimados, o modelo estimado apresenta a equação de previsão, representada abaixo pela equação 4.2.3:

$$\ln(PRODMG)_t = 0,9584 \ln(PRODACO)_\tau + 0,4018 \ln(CAMBIO)_{\tau-1} - 0,4815 \ln(IGPM)_\tau + 0,7591\varphi_{t-1} \quad (4.2.3)$$

O modelo é capaz de explicar 79,5% da variação da produção de ferro gusa de Minas Gerais pela análise do seu R<sup>2</sup> ajustado, errando, em média, 9,14% para cima ou para baixo em suas projeções, de acordo com a análise do seu MAPE. Por utilizar variáveis disponíveis em períodos de tempo distintos, o modelo tomou como referência os dados entre os anos de 1995 até 2021, maior período disponível com todas as variáveis explicativas.

Além das estatísticas de teste, o modelo permite analisar as elasticidades entre as variáveis explicativas e a produção de ferro gusa de Minas Gerais, dado que as variáveis estão em LOG-LOG. Com o aumento do IPGM percentual, estima-se uma redução da produção de ferro gusa

pelo estado de Minas Gerais em 0,48%. Isto é, um aumento do IGPM representaria um aumento dos custos e uma desvalorização da moeda corrente do produtor, havendo um desestímulo a produzir. Entretanto, avaliando o coeficiente da variável câmbio, se a alteração do câmbio for similar, acaba que a produção não diminui de forma tão abrupta, pois para cada alteração percentual no câmbio, tem-se um aumento de 0,40% na produção de ferro gusa. De modo geral, o modelo expressa o *trade off* enfrentado pelo produtor entre produzir com o foco no mercado externo ou no mercado interno.

Através do modelo, pode-se observar, a princípio, esse *trade off* com o foco maior no mercado interno, dado que a produção de aço interna acaba demandando o ferro gusa comercial, voltado para o mercado externo, fazendo com que os guseiros tenham que produzir além do que era produzido para o mercado externo, uma demanda mais fixa, trocando apenas os principais players.

Por mais que o MRD consiga trazer *insights* sobre as interações mercadológicas existentes, na próxima seção será apresentado o resultado da competição de métodos.

### 4.3 Competição de Métodos

Para escolher o melhor método, foi realizada análise de *out-of-sample rolling evaluation*. Isto é, foi utilizada análise recursiva fora da amostra. Foram retirados os últimos 3 dados da amostra. As estatísticas calculadas dentro e fora da amostra estão resumidas na tabela 04 abaixo.

**Tabela 4: Competição entre os modelos**

| Dentro da Amostra<br>( <i>In sample</i> ) |                       |          | Fora da Amostra<br>( <i>Out of Sample</i> ) |               |                     |                |
|---|-----------------------|----------|---|---------------|---------------------|----------------|
| Modelo                                    | R <sup>2</sup> adj(%) | MAPE (%) | MAPE (%)<br>H=1<br>N=3                      | MAPE<br>ACUM. | GMRAE<br>H=1<br>N=3 | GMRAE<br>ACUM. |
| MAE                                       | 68,16%                | 13,37%   | 7,90%                                       | 13,00%        | 0,985               | 0,986          |
| MBJ                                       | 74,39%                | 12,29%   | 6,00%                                       | 10,20%        | 0,765               | 0,784          |
| MRD                                       | 82,43%                | 8,70%    | 12,00%                                      | 17,30%        | 0,961               | 1,080          |

Fonte: Elaboração própria

Observa-se na tabela 04, através de uma análise horizontal, que o MAE e o MBJ apresentam bom poder de generalização, isto é, apresentam um desempenho fora da amostra melhor do que dentro da amostra. O MAE apresenta um MAPE igual a 7,9% fora da amostra contra 13,4% dentro da amostra. Já o MBJ apresenta um MAPE igual a 6% fora da amostra em relação a 12,3% dentro da amostra. O mesmo não acontece com o MRD, que apresenta um MAPE igual a 12% fora da amostra contra 8,7% dentro da amostra.

Ainda na tabela 04, em uma análise vertical, vê-se que o MRD foi o melhor modelo, apresentando melhor poder de explicação (82,4%) e menor MAPE (8,7%). Já análise fora da amostra, o MBJ possui melhor desempenho (MAPE igual a 6%).

Em síntese, pela análise dentro da amostra, o método vencedor seria o MRD. Já pela análise fora da amostra, o método vencedor seria o MBJ. Este trabalho optou por escolher o MBJ como método por vencedor, considerando que é aquele que apresenta o melhor desempenho ao se prever a realidade mais recente. Entretanto, é importante ressaltar que o MRD é a estimativa das relações entre as variáveis explicativas e a produção de ferro gusa em Minas Gerais conforme comentado anteriormente.

Como modelo vencedor, devido seu poder de representar a realidade mais recente, devido seu menor valor de MAPE acumulado na análise fora da amostra, o modelo realizado através do Box & Jenkins foi selecionado para realização das projeções da produção de ferro gusa comercial de Minas Gerais.

#### 4.4 Previsões da produção de ferro gusa em Minas Gerais

O horizonte para realização a previsão com o MBJ foi de 3 anos, obtendo o resultado para o período de 2022 a 2024. As previsões geradas, com intervalo de confiança de 95%, através do Método de Box & Jenkins (MBJ), usando um ARIMA (1,0,1), estão apresentadas na tabela 05 abaixo:

**Tabela 5: Previsões da produção de Ferro Gusa Comercial em Minas Gerais - Tons**

| Ano  | Limite Inferior | Previsão  | Limite Superior |
|------|-----------------|-----------|-----------------|
| 2022 | 2.942.935       | 3.973.095 | 5.363.858       |
| 2023 | 2.415.240       | 3.813.240 | 6.020.436       |
| 2024 | 2.134.928       | 3.667.745 | 6.301.079       |

Fonte: Elaboração própria Nota: Intervalo de confiança 95%

Na tabela 06, pode-se observar a variação anual da produção de ferro gusa em Minas Gerais, onde de 2005 a 2008 a produção vinha caindo a uma média de 9,5%, provavelmente devido à diminuição do consumo global, consequência do aumento da oferta de gusa comercial mineiro nos períodos de 2002 a 2004, impulsionando o reativamento de usinas e, conseqüentemente, criando um cenário de superprodução. Já em 2009 ocorre a menor produção em tempos recentes do setor (2,4 milhões de toneladas), podendo ser reflexo direto do cenário produtivo local, mas, principalmente, da crise econômica global enfrentada em 2008-09. Em 2010 a produção entra em seu estado mais estável de produção, sem contar com grandes saltos de produção ou de queda, permanecendo com uma produção média de 2,8 milhões de toneladas até 2015 com taxa de queda de 3,1%, quando a crise institucional se instaurou no país com a troca de governo através do impeachment da, então presidente, Dilma Rousseff, perdurando até 2017, reduzindo a produção em 20% entre a produção média de 2010-14 até 2017 (SINDIFER, 2015). No ano de 2017, com o aumento das demandas internacionais pelo ferro gusa comercial mineiro devido movimentações da China e de um câmbio mais atraente aos produtores, antigos fornos são reativados, elevando o patamar de produção, aumentando em 50% entre o período de 2015-2017, com produção média de 2,5 milhões de toneladas, até o período de 2019-21, com 3,8 milhões de toneladas média produzidas.

De acordo com as projeções e as análises feitas anteriormente, a produção de ferro gusa de Minas Gerais começa a cair após o ano de 2021, provavelmente devido à crise fiscal que se instaura no país, com índices de inflação cada vez maiores e com políticas cambiais com foco na diminuição do câmbio, com custos elevados de produção e diminuição da margem comercial da venda para o mercado externo.

Para os anos de 2021 até 2024, a produção cai 3,4% ao ano, taxa similar ao período de 2010 até 2015, que apresentava taxa negativa de 3,1% ao ano, período esse onde o mercado externo estava se recompondo da crise de 2008. Porém, com o grande impacto de forma repentina, os fornos foram sendo desligados de forma morosa, criando o cenário de queda entre 2010-16, só voltando a crescer devido os investimentos internos dada as grandes obras para os eventos globais que o Brasil sediou, como Copa do Mundo de Futebol e Olimpíadas.

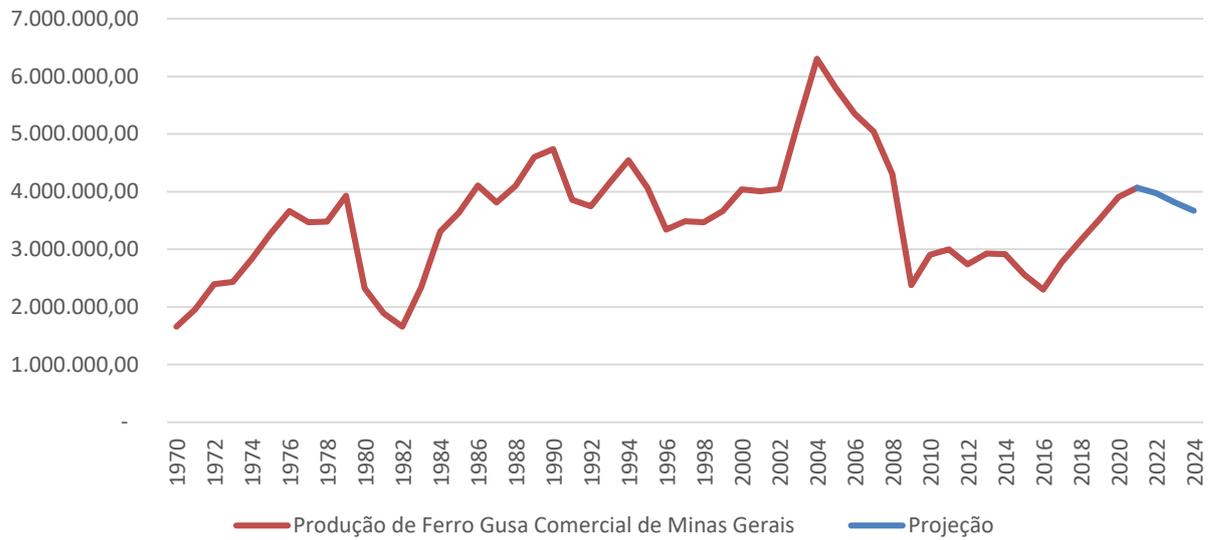
**Tabela 6: Evolução anual da produção de ferro gusa de Minas Gerais**

| <b>Ano</b> | <b>Produção</b> | <b>Variação</b> |
|------------|-----------------|-----------------|
| 2005       | 5.797.999       | -               |
| 2006       | 5.353.664       | -7,66%          |
| 2007       | 5.042.637       | -5,81%          |
| 2008       | 4.303.302       | -14,66%         |
| 2009       | 2.380.600       | -44,68%         |
| 2010       | 2.904.187       | 21,99%          |
| 2011       | 2.998.000       | 3,23%           |
| 2012       | 2.738.437       | -8,66%          |
| 2013       | 2.924.957       | 6,81%           |
| 2014       | 2.914.132       | -0,37%          |
| 2015       | 2.562.327       | -12,07%         |
| 2016       | 2.302.368       | -10,15%         |
| 2017       | 2.775.393       | 20,55%          |
| 2018       | 3.160.010       | 13,86%          |
| 2019       | 3.520.142       | 11,40%          |
| 2020       | 3.906.655       | 10,98%          |
| 2021       | 4.067.767       | 4,12%           |
| 2022*      | 3.973.095       | -2,33%          |
| 2023*      | 3.813.240       | -4,02%          |
| 2024*      | 3.667.745       | -3,82%          |

Fonte: Elaboração Própria Nota: \*Previsão

O modelo vencedor gerou um cenário de decrescimento da produção de 3,4% ao ano entre 2022 a 2024, com previsão de produção de 3,97, 3,81 e 3,67 milhões de toneladas, respectivamente. Abaixo, na figura 08, temos a representação gráfica das projeções

**Figura 8: Produção de Ferro Gusa Comercial por Minas Gerais e projeções para 2022-2024 (toneladas)**



Fonte: Elaboração Própria

## 5. CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo projetar a produção de ferro gusa de Minas Gerais, devido à sua importância econômica e social, e a necessidade de se gerar previsões sob incertezas. Estas previsões podem contribuir auxiliando no planejamento de empresas, de famílias empregadas pelo setor florestal e siderúrgico e regiões que possuem o setor de siderurgia desenvolvido ou em desenvolvimento.

Foi realizado um estudo e, apresentado de forma resumida, a estrutura do setor nacional siderúrgico, onde foi observado os maiores produtores de ferro gusa estão no estado de Minas Gerais e que, ao considerarmos apenas a produção de ferro gusa comercial, ela corresponde por parcela majoritária do fluxo de exportação do ferro gusa feito pelo Brasil, demonstrando sua importância em âmbito nacional e global.

Para desenvolver o modelo de previsão, foi realizado o estudo de duas técnicas de projeção univariada ou autoprojetiva (Método de Amortecimento Exponencial e Método de Box & Jenkins) e um método causal (Método de Regressão Dinâmica) e para a seleção do método vencedor, foi utilizado uma análise do poder de generalização dos modelos.

Definidas as equações de previsão e após as análises *in-sample* e *out-of-sample* para selecionar o modelo vencedor, foi selecionado o Método de Box & Jenkins.

O modelo vencedor gerou um cenário de decréscimo da produção de 3,4% ao ano entre 2022 a 2024, com previsão de produção de 3,97, 3,81 e 3,67 milhões de toneladas, respectivamente.

Este estudo permitiu ao seu autor conhecer métodos de análise de dados que constituem importantes ferramentas no trabalho de planejamento e conhecer o mercado de ferro gusa nacional e, em especial, o de Minas Gerais. O Método de Regressão Dinâmica, por mais que não tenha sido selecionado para realização das projeções, além da análise das elasticidades, permite ainda a geração de diferentes cenários para as variáveis explicativas (variação da produção de aço em território nacional e revisão das previsões feitas pelo Banco Central do Brasil para IGP-M e Câmbio) o que obviamente impacta no nível das previsões geradas para produção de ferro gusa de Minas Gerais. Em síntese, em trabalhos futuros, poder-se-ia obter diferentes cenários futuros para a produção de ferro gusa através de diferentes cenários para as variáveis explicativas. Obviamente, além dos métodos de análise aplicados neste trabalho monográfico, outros métodos poderiam também ser testados.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVES, Bianca. Preço do gusa preocupa o setor de fundição. *Diário do Comércio*, 12 mar 2022. Seção Economia. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/preco-do-gusa-preocupa-o-setor-de-fundicao/>. Acessado em 13 jul 2022

ARAÚJO, L. A., *Manual de Siderurgia*, São Paulo: Editora Arte & Ciência, 1997. Volume 1.

BAETA, Alenice; PILÓ, Henrique; NEVES, Marcus Duque. A Usina Wigg e a siderurgia em escala industrial nas minas oitocentista, Ouro Preto, Minas Gerais – Brasil. VI Colóquio Latino Americano sobre Recuperação e Preservação do Patrimônio Industrial, Iphan, Ouro Preto, n.p., 2012. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI\\_coloquio\\_t5\\_usina\\_wigg.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/ckfinder/arquivos/VI_coloquio_t5_usina_wigg.pdf). Acesso em: 11 jun 2022

BARROS, M.; SOUZA, R. C. *Regressão Dinâmica*. Núcleo de Estatística Computacional. PUC-Rio, 1995

BIANCHETTI, Mara. Exportações de ferro-gusa garantem produção maior em minas. *Diário do Comércio*, 8 jan 2021. Seção Economia. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/economia/exportacoes-de-ferro-gusa-garantem-producao-maior-em-minas/>. Acessado em 13 jul 2022

BOX, G. E. P and JENKINS, G.M., **Time series analysis: Forecasting and control**. Holden-Day, 1976.

CENTRO DE INFORMAÇÕES METAL MECÂNICA, Definição - O que é Obtenção do aço (processo). Disponível em: <https://www.cimm.com.br/portal/verbetes/exibir/605-obtencao-do-aco-processo>. Acessado em 13 jul 2022

CIFLORESTA, **Brazil Green Steel**, Viçosa, Minas Gerais, Março, 2018 Disponível em <http://www.ciflorestas.com.br/download.php?tabela=documentos&id=1114&leitura=s>. Acessado em 05 dez 2019

COSIAÇO, **A História do Aço a Partir da Idade do Ferro**. Disponível em <https://www.cosiaco.com.br/blog/a-historia-do-aco-a-partir-da-idade-do-ferro>. Acesso em 04 dez 2019

CUNHA, A. F. da. **Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos**. 2006. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006. Disponível em: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/2514>. Acessado em 13 jul 2022

FERREIRA, G. E.; CALAES, G. D.; AMARAL, J. A. G.; VON KRUGER, P.. **A indústria brasileira de gusa de mercado**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2006. (Série Estudos e Documentos, 66).

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. Amgh, 2011.

Instituto Aço Brasil; Anuário Estatístico - 2019 - Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, 2019. Disponível em:  
[https://acobrasil.org.br/site/wpcontent/uploads/2019/10/AcoBrasil\\_Anuario\\_2019.pdf](https://acobrasil.org.br/site/wpcontent/uploads/2019/10/AcoBrasil_Anuario_2019.pdf)  
Acessado em 07 jun 2022

PASSOS, Elisa Kimus Dias. **Avaliação das Rotas de Produção de Ferro Gusa**. 2009. Projeto de Formatura – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/7907/1/monopoli10003483.pdf>  
Acessado em 13 jul 2022

DE PAULA, Germano Mendes. Produção Independente de Ferro Gusa (“Guseiros”). 2014. EBC – Núcleo de Estudos de Economias de Baixo Carbono, Ribeirão Preto, 2014. Disponível em:  
[http://www.comexresponde.gov.br/portalmidic/arquivos/dwnl\\_1423738671.pdf](http://www.comexresponde.gov.br/portalmidic/arquivos/dwnl_1423738671.pdf). Acessado em 13 jul 2022

Processo Siderúrgico. Instituto Aço Brasil, 2022. Disponível em:  
<https://acobrasil.org.br/site/processo-siderurgico/>. Acessado em 07 jun 2022

Ministério de Minas e Energia. Relatório. Técnico 59 – Perfil do Ferro Gusa, 2009. Disponível em:  
[http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/449811/P33\\_RT59\\_Perfil\\_do\\_Ferro-Gusa.pdf/1b761ee6-8b1b-bfad-3c4b-a4f0f7b23a11?version=1.0](http://antigo.mme.gov.br/documents/36108/449811/P33_RT59_Perfil_do_Ferro-Gusa.pdf/1b761ee6-8b1b-bfad-3c4b-a4f0f7b23a11?version=1.0). Acessado em 11 jun 2022

SINDIFER, **Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais**, Anuário 2015, 2016. Disponível em: [http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário\\_2015.pdf](http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário_2015.pdf). Acessado em 07 jun 2022

SINDIFER, **Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais**, Anuário 2016, 2017. Disponível em: [http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário\\_2016.pdf](http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário_2016.pdf). Acessado em 07 jun 2022

SINDIFER, **Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais**, Anuário 2017, 2018. Disponível em: [http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário\\_2017.pdf](http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário_2017.pdf). Acessado em 07 jun 2022

SINDIFER, **Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais**, Anuário 2019 – ano base 2018, 2019. Disponível em:  
[http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário\\_2019.pdf](http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário_2019.pdf). Acessado em 07 jun 2022

SINDIFER, **Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais**, Anuário 2020 – ano base 2019, 202. Disponível em:  
[http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário\\_2019.pdf](http://www.sindifer.com.br/institucional/anuário/anuário_2019.pdf). Acessado em 25 jan 2022

SINDIFER, **Sindicato da Indústria do Ferro no Estado de Minas Gerais**, Anuário 2021 – ano base 2020, 2022. Disponível em: <http://sindifer.com.br/sndfr/anuario-estatistico/>. Acessado em 07 jun 2022

SOUSA, G. de F & CARDOZO, S. A.; Estrutura Produtiva de Minas Gerais e Participação Estadual na Produção Industrial Nacional nos Anos 2000. **Jornal GGN**, 2013.

SOUZA, R. C., CAMARGO, M. E., *Análise e Previsão de Séries Temporais: Os Modelos ARIMA*. SEDIGRAF, 1996

SOUZA, R. C., CAMARGO, M. E. (2004), *Análise de Séries Temporais: os Modelos ARIMA*, 2ª.ed., Gráfica e Editora Regional, Rio de Janeiro, 2004

VERÍSSIMO, M. P. & ARAÚJO, S. de C.; Perfil industrial de Minas Gerais e a hipótese de desindustrialização estadual. **Rev. Bras. Inov.**,2016.

WORLD STEEL ASSOCIATION; The Role of Steel Manufacturing in the Global Economy A report for the world steel association. 2019. Disponível em: < <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/The-role-of-steel-manufacturing-in-the-global-economy.pdf> > Acessado em 07 jun 2022

WORLD STEEL ASSOCIATION; World Steel in Figures,2022. 2022. Disponível em: < <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/>> Acessado em 07 jun 2022

ZANINI, A., SOUZA, R. C. & PEDREIRA, C. E.; Um modelo híbrido para Previsão de Curto Prazo da Demanda de Gasolina Automotiva no Brasil. **V Congresso Brasileiro de Redes Neurais**, 2001.

ZANINI, A.; Métodos Estatísticos de Previsão. **Material Didático**, 2014.