

## Consumo de Aço no Brasil: um modelo baseado na técnica da intensidade do uso

Fernando Nascimento de Oliveira e Luiz Paulo Vervloet Sollero

Julho, 2014

# Trabalhos para Discussão



358

ISSN 1519-1028 CGC 00.038.166/0001-05

Trabalhos para Discussão	Brasília	n° 358	julho	2014	p. 1-66

## Trabalhos para Discussão

Editado pelo Departamento de Estudos e Pesquisas (Depep) – E-mail: workingpaper@bcb.gov.br

Editor: Francisco Marcos Rodrigues Figueiredo – E-mail: francisco-marcos.figueiredo@bcb.gov.br

Assistente Editorial: Jane Sofia Moita – E-mail: jane.sofia@bcb.gov.br

Chefe do Depep: Eduardo José Araújo Lima – E-mail: eduardo.lima@bcb.gov.br

Todos os Trabalhos para Discussão do Banco Central do Brasil são avaliados em processo de double blind referee.

Reprodução permitida somente se a fonte for citada como: Trabalhos para Discussão nº 358.

Autorizado por Carlos Hamilton Vasconcelos Araújo, Diretor de Política Econômica.

#### Controle Geral de Publicações

Banco Central do Brasil

Comun/Dipiv/Coivi

SBS – Quadra 3 – Bloco B – Edifício-Sede – 14° andar

Caixa Postal 8.670

70074-900 Brasília – DF

Telefones: (61) 3414-3710 e 3414-3565

Fax: (61) 3414-1898

E-mail: editor@bcb.gov.br

As opiniões expressas neste trabalho são exclusivamente do(s) autor(es) e não refletem, necessariamente, a visão do Banco Central do Brasil.

Ainda que este artigo represente trabalho preliminar, citação da fonte é requerida mesmo quando reproduzido parcialmente.

The views expressed in this work are those of the authors and do not necessarily reflect those of the Banco Central or its members.

Although these Working Papers often represent preliminary work, citation of source is required when used or reproduced.

#### Divisão de Atendimento ao Cidadão

Banco Central do Brasil

Deati/Diate

SBS – Quadra 3 – Bloco B – Edifício-Sede – 2º subsolo

70074-900 Brasília – DF

DDG: 0800 9792345 Fax: (61) 3414-2553

Internet: <a href="http://www.bcb.gov.br/?FALECONOSCO">http://www.bcb.gov.br/?FALECONOSCO</a>

### Consumo de Aço no Brasil: Um modelo baseado na técnica da intensidade do uso

Fernando Nascimento de Oliveira\* Luiz Paulo Vervloet Sollero\*\*

#### Resumo

Este Trabalho para Discussão não deve ser citado como representando as opiniões do Banco Central do Brasil. As opiniões expressas neste trabalho são exclusivamente do(s) autor(es) e não refletem, necessariamente, a visão do Banco Central do Brasil.

Neste artigo, analisamos o consumo de aço do Brasil, baseado em um modelo de intensidade do uso, isto é, consumo por unidade monetária da economia, trazendo informações que visam a esclarecer o comportamento futuro do consumo deste metal. Nossos resultados empíricos indicam que o aumento da intensidade do uso de aço foi a principal causa do aumento do consumo do metal no país na última década, mas que a mesma não deve atingir níveis internacionalmente altos num horizonte relativamente curto de tempo.

Palavras Chaves: Consumo de aço, Modelo de intensidade de uso

Classificação JEL: O4, O41

<sup>\*</sup> Banco Central do Brasil. Departamento Estudos e Pesquisas. E-mail: fernando.nascimento@bcb.gov.br \*\* National Oilwell Varco.

#### 1. Introdução

Um dos indicadores mais utilizados para a avaliação do grau de industrialização de um país é seu consumo de aço *per capita*. De fato, todas as maiores economias do mundo são (ou foram) grandes produtoras de aço (das 10 maiores economias do mundo, sete estão entre os 10 maiores produtores de aço do mundo)<sup>1</sup>. Nos países em desenvolvimento, o consumo *per capita* de aço aumenta rapidamente durante seu período de industrialização, em consonância com o crescimento da renda *per capita*. Daí o interesse, para qualquer país, para entender a dinâmica do consumo de aço.

No caso particular do Brasil, o interesse é ainda maior. Os ciclos de desenvolvimento do país são caracterizados por sua natureza inconstante, e isso se observa claramente no seu consumo de aço, que seguiu trajetória bastante distinta dos seus pares globais. Assim como os demais países em processo de industrialização, o Brasil apresentou rápido aumento do seu consumo de aço *per capita*, de sua renda *per capita* e de sua taxa de urbanização durante o período inicial de seu processo de desenvolvimento industrial (no caso brasileiro, entre o final da década de 1960 e o início da de 1980). No entanto, em contraste com os países que experimentaram industrialização mais cedo que o Brasil, e também com os que experimentaram industrialização mais tardia, o consumo *per capita* de aço nacional entrou em prolongada estagnação antes de alcançar nível elevado (ou mesmo moderado), o mesmo ocorrendo com a renda *per capita*. Mas o país continuou a urbanizar-se em ritmo acelerado.

Apesar do crescimento nos últimos anos, o consumo nacional continua em patamar significativamente inferior ao de países com nível de desenvolvimento comparável<sup>2</sup>. É de grande interesse, portanto, buscar entender as variáveis que influenciam esse consumo e avaliar seu potencial de crescimento, elaborando um modelo do mesmo.

Diversos estudos propõem modelos econométricos para o consumo de aço em outros países, como Valdes (1988) para a Austrália, Crompton (2000) para o Japão e McKay, Sheng & Song (2011) para a China, esse último buscando estimar o *peak steel* chinês, tema de grande importância para a indústria global.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> World Steel, 2012.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Dentre os BRICs o Brasil possui o menor consumo de aço, sendo 40% inferior ao da Rússia, 65% inferior ao da Índia e 96% inferior ao da China. Em termos *per capita*, o consumo brasileiro é superior apenas ao indiano, neste grupo de países.

Já no caso brasileiro há falta de literatura sobre o assunto. Scherrer (2006) é um dos poucos. Nesse estudo, a autora apresenta algumas metodologias econométricas para estimação de demanda, aplicadas posteriormente ao consumo de aços longos (vergalhões), com o objetivo de avaliar quais variáveis os afetam e como esse efeito se comporta ao longo do tempo.

Neste estudo, optou-se por estudar o consumo de aço no Brasil sob da ótica da Intensidade do Uso, conceito desenvolvido por Munlenbaum (1973) para análise do consumo de metálicos em geral, e muito empregado para o aço em particular. Valdes (1988) se utiliza desta teoria para criar um modelo do consumo de aço na Austrália. Warrel & Olsson (2009) utilizam essa teoria para determinar se estariam a China e a Índia próximas de seu pico da curva de intensidade do uso. A ausência desse tipo de modelo aplicado ao Brasil reforçou a motivação deste estudo.

O modelo empregado para estimar a intensidade do uso de aço no Brasil foi uma adaptação de Valdes (1988) à realidade do setor siderúrgico brasileiro. Trata-se de um modelo de consumo que parte de princípio que a intensidade do uso de aço não é inexoravelmente ligada ao nível de renda ou a outra medida de desenvolvimento econômico, mas sim a fatores econômicos mais fundamentais, tais como preço do aço, mudanças tecnológicas, e ritmo e direção de mudanças estruturais na economia. O modelo foi estimado por meio de mínimos quadrados ordinários (MQO) e, numa análise de robustez, comparado com um modelo estimado por mínimos quadrados não lineares, como no original de Valdes (1988).

Os dados empregados são exclusivamente anuais e abrangem o período de 1952 a 2011. Sempre que possível, foram utilizadas séries obtidas do Instituto Aço Brasil (IABR) e Ipeadata (que por sua vez, utiliza séries do IBGE, da FGV e de outras fontes<sup>3</sup>). Nos casos em que as séries necessárias não estavam disponíveis nessas fontes (ou não estavam disponíveis para todo período estudado), recorreu-se à Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (Anfavea), ao *US Geological Survey* e ao *Bureau of Labor Statistics*, sendo esses dois últimos órgãos do governo dos Estados Unidos.

Os resultados obtidos, em linhas gerais, demonstram que o consumo de aço no Brasil ainda se expande com o crescimento econômico e que de fato este e não um aumento na

<sup>3</sup> As séries retiradas do Ipeadata, devidamente identificadas ao longo deste estudo, estão disponíveis em http://www.ipeadata.gov.br/

intensidade do uso foi o principal responsável pelo aumento do consumo na última década (2002-2011). Por outro lado, os resultados também sugerem que é improvável que a economia brasileira venha a se tornar tão intensiva em aço quanto a economia dos países com as quais foi comparada no decorrer deste estudo, pelo menos num horizonte de tempo relativamente curto.

Os resultados deste estudo corroboram a hipótese de Valdes (1988) que a intensidade do uso de aço num país depende fundamentalmente da composição setorial da economia do mesmo<sup>4</sup> não seguindo necessariamente um trajeto determinado pela renda *per capita*.

Nosso trabalho contribui com a literatura de duas maneiras: ao aplicar um modelo de consumo de aço no Brasil e ao ampliar o modelo proposto por Tilton (1988) e Valdes (1988) para o caso de uma economia onde importações e exportações de aço são significativas em relação ao consumo nacional.

O restante deste artigo é composto das seguintes seções: a Seção 2 apresenta um breve histórico da moderna indústria siderúrgica mundial. A Seção 3 descreve a indústria siderúrgica brasileira, sua história e peculiaridades do consumo nacional de aço. A Seção 4 descreve e especifica o modelo empregado. A Seção 5 analisa os resultados empíricos da regressão. A Seção 6 consiste numa análise de robustez, especificando um modelo com variáveis explicativas distintas através de um método diferente. A Seção 7 contém as conclusões do trabalho, seguida pelas referências bibliográficas e pelo apêndice.

#### Breve Histórico da Moderna Indústria Siderúrgica Mundial

Da Revolução Industrial até o final do século XX, a produção mundial de aço foi dominada pelas nações desenvolvidas, com destaque para os EUA. De fato, do fim do século XIX até a década de 1970, esse país foi o maior produtor do metal e também o produtor de menor custo. Um único fabricante americano, a *US Steel*, chegou em 1901 a ser responsável por quase 30% de todo aço produzido no mundo (a *US Steel* foi também a primeira empresa do mundo a atingir valor de mercado superior a um bilhão de dólares)<sup>5</sup>.

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> De acordo com Valdes (1988), quanto maior o peso relativo do setor manufatureiro na economia de um País, e quanto maior a participação de manufaturas tradicionais no setor manufatureiro, maior a intensidade do uso de aço.

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> United States Steel Annual Corporate Reports: 1902-Present.

Durante as décadas que se seguiram à Grande Depressão e à Segunda Guerra Mundial, a indústria siderúrgica cresceu de forma acelerada, atingindo média de crescimento de 5,9% ao ano, entre 1950 e 1970. Esse crescimento acompanhou de perto o desenvolvimento econômico dos principais produtores, sendo concentrado nos EUA, Europa Ocidental, Japão e União Soviética. A Figura 1 registra esta evolução.

Produção Mundial de Aço (Mt) Crise do 1600 Subprime 1400 Crescimento 1200 Acelerado da 2° Choque do China 1000 1° Choque do Petróleo Petróleo 800 Colapso da 600 **URSS** 400 200 0 1950 1960 1970 1980 1990 2000 2010

Figura 1 – Evolução da produção mundial de aço (Adaptado de: IABR)

Esse longo período de crescimento acelerado da produção chegou ao fim com o Primeiro Choque do Petróleo, que também encerrou a era de rápido crescimento das economias avançadas. Nos EUA, o pico da produção foi atingido em 1969, quando se produziram mais de 141 milhões de toneladas desse metal (para efeito de comparação, a produção americana de 2011 foi de pouco mais de 86 milhões de toneladas)<sup>6</sup>. A redução dos custos de transporte e a construção de usinas mais modernas em outros países acabaram com a vantagem de custo da indústria americana, antes mesmo do duro golpe da crise do petróleo. Durante a década de 1970, os EUA foram ultrapassados na produção de aço pelo Japão e pela URSS (sendo ambos ultrapassados pela China na década de 1990).

O choque do petróleo e o consequente baixo crescimento econômico mundial levaram a um período de baixos preços e a excesso de oferta de aço no mercado internacional, resultando em baixo crescimento dessa indústria (média de 1,2% ao ano entre 1970 e

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> World Steel in Figures, 2012.

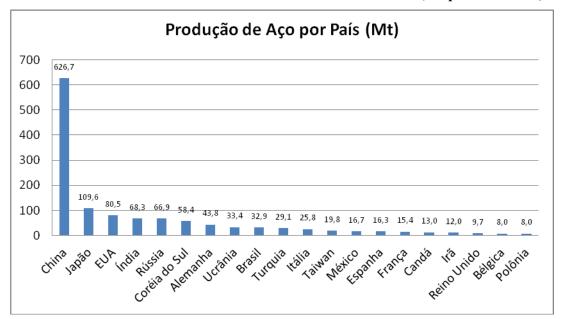
2000). O crescimento teria sido ainda menor sem o "efeito China", cuja indústria siderúrgica entrou em fase de rápido crescimento em meados da década de 1980. A partir de 2000, o crescimento da produção chinesa tornou-se tão elevado que a produção mundial como um todo entrou em novo período de rápido crescimento (média de 4,2% ao ano entre 2000 e 2010, mesmo contando-se a crise de 2008-2009). Como se pode notar na Figura 2 abaixo, a China foi responsável pela maior parte do crescimento da produção mundial de aço.

Mt Mt 1 400 1400 Mundo 1 200 1 200 1 000 1 000 800 800 600 600 Mundo Excluindo a China 400 400 China 200 200 ٥ لـ 0 1961 1971 1981 1991 2001 2011 c

Figura 2 – Participação da China na evolução da produção mundial de aço (Adaptado de World Steel)

Hoje a China é, de longe, o maior produtor mundial de aço, sendo responsável por cerca de 45% do total produzido no mundo. De fato, sua produção corresponde à soma da dos 15 principais produtores subsequentes:

Figura 3 – Principais produtores de aço, em milhões de toneladas (Adaptado de: IABR, 2010)



#### O Setor Siderúrgico no Brasil

Neste tópico será apresentado o setor siderúrgico do Brasil, com um breve histórico do mesmo, a descrição do panorama atual e uma comparação do consumo de aço no Brasil com o de outros países com nível de desenvolvimento comparável.

#### Breve Histórico da Siderurgia no Brasil

No Brasil, a indústria siderúrgica moderna teve início em 1917, com a criação da Companhia Siderúrgica Mineira, em Sabará, Minas Gerais. Em 1921, a empresa associa-se ao grupo luxemburguês ARBED (que posteriormente seria um dos criadores da Arcelor), formando a Cia. Siderúrgica Belgo-Mineira. Em 1937 a empresa inaugura a usina de Monlevade, com capacidade inicial de 50 mil toneladas de lingotes de aço e sendo na época a maior usina integrada a carvão vegetal do mundo<sup>7</sup>. Ainda na década de 1930, são constituídas a Cia. Siderúrgica de Barra Mansa e a Cia. Metalúrgica de Barbará. A década de 1940 viu a inauguração de uma nova siderúrgica no Espírito Santo, a Cia. Siderúrgica de Vitória (Cofavi) em 1942, mas o Brasil continuava quase inteiramente dependente de aço importado.

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> O Setor Siderúrgico, BNDES.

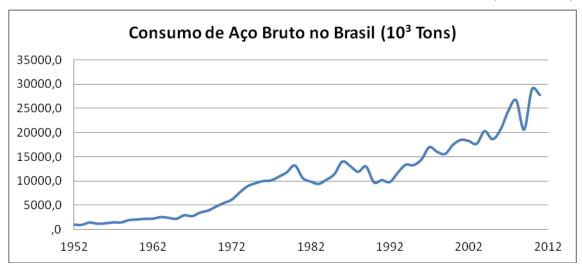
O início da grande expansão siderúrgica nacional dá-se de fato em 1946, quando o governo Vargas inaugura em Volta Redonda a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Financiada, em parte, pelos Estados Unidos e feita com base em projeto da *US Steel*, a usina se tornou rapidamente a maior siderúrgica da América Latina. As décadas seguintes testemunharam a contínua expansão da capacidade produtiva da CSN, além da inauguração de outras importantes siderúrgicas brasileiras como a Companhia Siderúrgica Paulista (Cosipa) em Cubatão, e a Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais (Usiminas) em Ipatinga, ambas em 1956. Apesar disso, o país continuou sendo um importador líquido de aço até 1977.

Com o objetivo de reverter esse quadro, e com o dirigismo que lhe era característico, o governo brasileiro concebeu em 1971 o Plano Siderúrgico Nacional (PSN), que almejava elevar a produção nacional de aço de cinco milhões de toneladas em 1970 para 20 milhões de toneladas em 1980 e aumentar drasticamente as exportações, ao definir que 20% da capacidade seriam direcionadas ao mercado externo. Apesar de substanciais avanços nestas duas metas, ambas não foram atingidas: em 1980 a produção brasileira somou 15,3 milhões de toneladas, dos quais pouco menos de 10% foram exportadas.

O Brasil veio a consolidar-se como grande exportador de aço durante a década de 1980, não pelo aumento da produção, mas pela retração do mercado interno, que forçou as usinas a buscarem consumidores fora do país. Entre 1980 e 1990, o consumo aparente de aço bruto no país recuou mais de 26%, enquanto as exportações de aço avançaram 500%. Esse perfil exportador do Brasil é mantido até hoje, apesar da recente recuperação do consumo interno. Em 2011, o país foi o 13º maior exportador do metal em termos absolutos, mas se forem consideradas as exportações líquidas (exportações menos importações), passa a ocupar o 5º lugar. A Figura 4 registra o consumo de aço bruto no Brasil, de 1952 a 2012.

Figura 4 – Consumo de aço bruto no Brasil

(Fonte: IABR)



O processo de privatização do setor siderúrgico brasileiro teve início em 1988, com o Plano de Saneamento do Sistema Siderbrás, em que usinas de menor porte, produtoras de aços longos, foram vendidas à iniciativa privada. A maior parte destas usinas foi comprada pela Gerdau e pela Villares (em 2005, a Gerdau comprou a Sidenor, controladora da Villares). Apesar disso, as grandes usinas (integradas) foram mantidas nas mãos do Estado, e o setor chegou ao ano de 1990 com 65% da produção oriunda de estatais.

As siderúrgicas estatais apresentavam alto nível de endividamento, o que levava a baixos investimentos em pesquisa tecnológica e, consequentemente, baixa produtividade frente a seus pares nacionais e internacionais. A interferência econômica e a política do governo no setor também comprometiam a rentabilidade do mesmo, o que forçava o governo a realizar repetidos e vultosos aportes para manter as estatais em funcionamento (US\$25,5 bilhões líquidos de 1950 a 1990, referentes a ativo permanente e reestruturação financeira)<sup>8</sup>.

A Siderbrás foi extinta em 1990, e, no mesmo ano, foi criado o Plano Nacional de Desestatização. Entre 1991 e 1993, oito das principais siderúrgicas brasileira foram vendidas à iniciativa privada, em transações que totalizaram 8,2 bilhões de dólares (contando transferência de dívidas) e 19,5 milhões de toneladas capacidade produtiva. O Estado deixou, portanto, de administrar qualquer usina.

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> O Setor Siderúrgico, BNDES.

As privatizações capitalizaram as empresas com novos sócios, alongaram o perfil de seu endividamento e, no geral, melhoraram seus indicadores financeiros. As empresas passaram a investir maciçamente na atualização tecnológica das usinas, aplicando US\$36,4 bilhões entre 1994 e 2011 e elevando a capacidade instalada a 48 milhões de toneladas. Entretanto, a produção em 2011 limitou-se a pouco mais de 35 milhões de toneladas, em decorrência do baixo crescimento interno e externo e dos elevados custos de produção no Brasil, que vêm provocando um expressivo aumento das importações. A Figura 5 registra a evolução da produção, importação e exportação de aço no Brasil ao longo do tempo:

40000,0 35000,0 30000.0 25000.0 Produção 20000.0 Importação 15000,0 Exportação 10000,0 5000.0 ,0 1962 1982 1992 2002 2012 1952 1972

Figura 5 – Produção e comércio exterior de aço no Brasil (Fontes: IABR e BNDES)

#### Panorama Atual da Indústria Siderúrgica Brasileira

Atualmente (2012), a indústria siderúrgica brasileira é composta por 29 usinas administradas por 14 empresas privadas, controladas por 11 grupos empresariais. Esses números denotam a forte consolidação do setor iniciada em meados da década de 1980, quando havia 35 grupos empresariais em atuação. A siderurgia brasileira emprega cerca de 140 mil pessoas diretamente, e foi responsável, em 2011, por 13% de todo saldo comercial do país, com exportações líquidas de US\$3,9 bilhões<sup>9</sup>.

A capacidade instalada do setor no país atingiu em 2011 o recorde de 47,8 milhões de toneladas de aço bruto por ano, mas, como já mencionado, a produção de fato ficou

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> IABR, 2012.

pouco acima de 35 milhões (73,5% de utilização). Destas, pouco menos de 11 milhões de toneladas foram exportadas, e o Brasil importou cerca de 3,8 milhões de toneladas. Em 2010, principalmente em virtude dos altos custos locais, a importação de aço atingiu o maior volume da história do Brasil, quase seis milhões de toneladas.

Além das exportações e das importações diretas de aço, descritas no parágrafo anterior, o país também importa e exporta aço indiretamente na forma de produtos que levam o mesmo em sua composição. Nesses, o aumento das importações nos últimos anos foi ainda mais expressivo, e, desde 2009, o Brasil se tornou importador líquido de aço indireto, conforme o figura abaixo.

Comércio Exterior de Aço Indireto no Brasil (Mt) 4500,0 4000,0 3500,0 3000,0 2500,0 2000,0 1500.0 Exportação Indireta 1000,0 Importação Indireta 500,0 ,0 2001 2005 2008 2009 2010 2002 2003 2004 2006 2007

Figura 6 – Comércio exterior de aço indireto no Brasil (Extraído de IABR)

#### O Baixo Consumo per capita de Aço no Brasil

Como já mencionado, o consumo de aço *per capita* de um país é considerado importante indicador de seu estágio de desenvolvimento industrial. A teoria dominante postula que há forte correlação entre o consumo de aço *per capita* e o PIB *per capita* de um país, ainda que essa relação seja não linear. Historicamente, o consumo de aço dos países aumenta rapidamente durante seu período de industrialização, em consonância com a sua renda *per capita*. Esse fato foi observado nos países desenvolvidos, como EUA, Japão e Alemanha, e também nos países que

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Warren e Olsson, 2009.

experimentaram forte desenvolvimento industrial nas últimas décadas do século XX, como indicado na Tabela 1 abaixo.

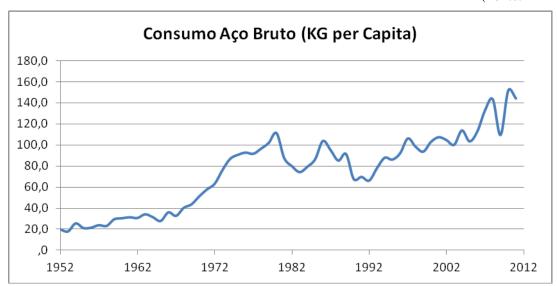
Tabela 1: Relação PIB e consumo de aço em diferentes países.

Esta tabela ilustra o consumo de aço *per capita* de aço de alguns países em dois anos distintos, informação obtida da *World Steel Association*, assim como de seus PIBs *per capita* nestes mesmos anos (ajustados por paridade de poder de compra), em dólares de 2005, informação do Banco Mundial.

	1980		2011		Variação %	
País	PIB per Capita	KG per capita	PIB per Capita	KG per capita	PIB per Capita	KG per capita
Brasil	7.567	101	10.278	123	36%	22%
China	524	34	7.404	460	1313%	1248%
Coréia do Sul	5.544	160	27.541	1.157	397%	623%
Chile	5,564	56	15.272	154	174%	173%
Espanha	15.368	202	27.063	323	76%	60%
México	10.238	120	12.776	158	25%	32%

Nota-se da Tabela 1 que o Brasil se destaca pela baixa relação na evolução (consumo de aço)/(PIB *per capita*), além de baixo avanço em ambos os campos individualmente. Uma simples comparação entre 1980 e 2011, no entanto, oculta o que de fato ocorreu com o consumo *per capita* de aço no país. De fato, pode-se dividir o período em duas fases: uma que vai de 1980 até 1992, e é marcada por declínio do consumo *per capita*, e outra de 1993 ao presente, marcada pela retomada do crescimento. A figura abaixo ilustra esta divisão:

Figura 7 – Evolução do consumo de aço *per capita* no Brasil (Fonte: IABR)



Apesar da retomada do crescimento no consumo *per capita* ocorrida nos últimos 20 anos, o Brasil ainda encontra-se em patamar incompatível com seu almejado *status* de "nova nação industrializada". O consumo brasileiro de produtos acabados de aço, de

123 kg por pessoa por ano encontra-se bem abaixo da média mundial, de 215 kg por ano<sup>11</sup>. Nota-se, também, da tabela abaixo, como o consumo brasileiro é menor do que de países de nível de desenvolvimento comparável.

Tabela 2: Consumo per capita de produtos acabados de aço em diferentes países.

Esta tabela ilustra o PIB per capita de alguns países em 2011 em taxa correntes de conversão (dólares de 2011), informação do FMI, e seu consumo de aço per capita no mesmo ano, informação da World Steel Association.

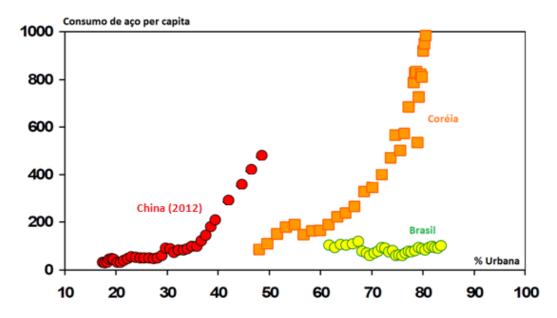
País	PIB per Capita	KG per Capita
Brasil	12.789	123
Irã	6.360	284
Malásia	9.700	294
México	10.153	158
Polônia	13.540	287
Rússia	12.993	292
Tailândia	5.394	202
Turquia	10.552	342

Se, por um lado, o baixo consumo per capita brasileiro sugere considerável espaço para aumento, por outro há algumas razões para se questionar se o país virá a alcançar o patamar de consumo dos países acima listados. Dentre estas razões, destacam-se o fato de Brasil ter um setor de serviços com peso cada vez maior na economia (67% em 2011, contra apenas 43% na China<sup>12</sup>) e de já ser extremamente urbano (83% em 2010, comparado a apenas 47% na China<sup>13</sup>). A figura abaixo ilustra como, ao contrário da China e da Coreia do Sul, o aumento da urbanização no Brasil não se refletiu em aumento exponencial no consumo per capita de aço.

<sup>11</sup> World Steel, 2012. <sup>12</sup> CIA World Factbook.

<sup>&</sup>lt;sup>13</sup> IBGE e CIA World Factbook.

Figura 8 – Consumo de aço e urbanização no Brasil, China e Coreia (Adaptado de: McKay 2008)



Cabe ressaltar que entre as taxas de urbanização de 45% até aproximadamente 67%, o Brasil demonstrou, de fato, apreciável aumento no consumo *per capita*, mas não na escala observada nesses outros países. A urbanização continuou bem além desse patamar, mas, ao contrário do que ocorreu na Coreia do Sul, o consumo de aço *per capita* não a acompanhou.

Outra maneira de se analisar o consumo de aço de um país é por meio da intensidade do uso do metal na economia, isto é, quanto aço é consumido por unidade do PIB. A tabela abaixo, que repete os países da Tabela II e adiciona China e Coreia do Sul, demonstra como, por essa ótica, a diferença entre o Brasil e algumas nações comparáveis é ainda maior:

Tabela 3: Intensidade do Uso de produtos acabados de aço em diferentes países.

Esta tabela ilustra o PIB *per capita* em 2011 em taxas correntes de conversão (dólares de 2011) de alguns países, assim como a intensidade do uso de aço nestes mesmos países e a proporção desta com a intensidade do uso de aço no Brasil (informações do FMI e *World Steel Association*).

País	PIB per Capita	KG / Dólar	% Brasil
Brasil	12.789	0,0096	100%
China	5.413	0,0849	883%
Coréia do Sul	23,020	0,0502	522%
Irã	6.360	0,0447	464%
Malásia	9.700	0,0303	315%
México	10.153	0,0156	162%
Polônia	13.540	0,0212	220%
Rússia	12.993	0,0225	234%
Tailândia	5.394	0,0374	389%
Turquia	10.552	0,0324	337%

A Tabela 3 deixa claro que a economia brasileira é muito menos intensiva em aço que a de países comparáveis (China e Coreia do Sul não são propriamente comparáveis ao Brasil, e foram incluídas apenas para efeito de ilustração, mas é notável que mesmo o México tenha uma economia 62% mais intensiva em aço do que a brasileira).

Este estudo se valerá deste método, a Intensidade do Uso, que será descrito na próxima seção, para buscar responder a esta questão chave do potencial de crescimento do consumo de aço no Brasil avaliando as variáveis que impactam o consumo.

#### Modelo Teórico

Os primeiros modelos de demanda por metais partiam da suposição de que o consumo dos mesmos cresce proporcionalmente à atividade econômica. Essa suposição foi empregada no famoso relatório do "Clube de Roma", que previa aumento exponencial e insustentável da demanda por metais como consequência do contínuo crescimento econômico. A falha na concretização das previsões desse relatório deixa clara a excessiva simplicidade do modelo, que não leva em conta os ajustes de mercado em resposta à escassez.

A Hipótese da Intensidade do Uso (aplicável à energia, metálicos em geral, etc., aqui focada no aço), primeiramente formulada por Munlenbaum (1973), surgiu como uma alternativa aos deficientes modelos tradicionais. Esta sugere que a curva de intensidade do uso (definida como uma unidade de consumo do metálico por unidade do PIB) tem a forma de um U invertido quando plotada contra o PIB *per capita*. Um dos problemas

básicos desta hipótese é que o PIB *per capita* tem crescido constantemente com o tempo, então um alto grau de correlação existe entre ambos. Isto levanta a possibilidade que o PIB *per capita* seja apenas um *Proxy* do tempo e de outros fatores relacionados ao tempo.

Uma variação da Hipótese da Intensidade do Uso, conhecida como Hipótese do Ciclo de Vida dos Produtos, postula que a intensidade do uso de um metal avança por quatro diferentes estágios à medida que o PIB *per capita* aumenta: introdução, crescimento, maturidade e declínio<sup>14</sup>.

Num país pré-industrial a intensidade do consumo é baixa, pois as atividades econômicas concentram-se em setores como agricultura ou manufaturas intensivas em trabalho. Já nos primeiros estágios da evolução industrial a intensidade aumenta rapidamente, uma vez que o país se urbaniza (a construção civil é sempre um dos principais consumidores de aço) e cria indústrias de base, intensivas no metal. À medida que a economia amadurece, a intensidade do uso entra em estabilização e lento declínio, uma vez que aumenta a participação dos serviços na composição do PIB e as manufaturas priorizam maior tecnologia, onde o aço é substituído por outros materiais.

A intensidade do uso de aço é definida como a razão entre o consumo de aço  $D_t$  e a renda nacional,  $Y_t$ , no ano t (Radetzki e Tilton, 1990). É uma função do PIB *per capita*:

$$IU_t = D_t/Y_t \tag{1}$$

$$IU_{t} = f\left(\frac{PIB_{t}}{Capita_{t}}\right) \tag{2}$$

Os dados empíricos em geral corroboram a hipótese de que a intensidade do uso de aço tem forma de U invertido. Isso pode ser observado tanto em países individuais como em agregados de regiões, conforme as figuras abaixo:

<sup>&</sup>lt;sup>14</sup> McLennan, Magasanik e Pearce (1988).

Figura 9 – Intensidade de uso do aço na Coreia (Fonte: Warrel e Olsson, 2009)

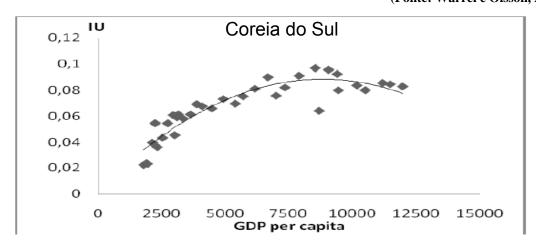
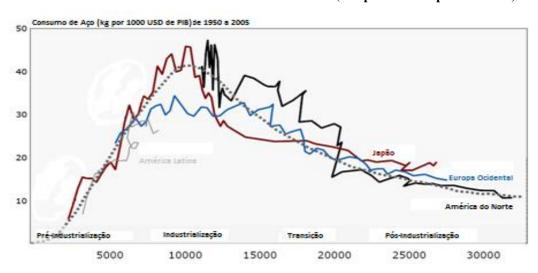


Figura 10 – Evolução da Intensidade de Uso do aço em diferentes regiões do mundo, Dólares de 1995, em paridade de poder de compra (Adaptado de: Laplace Conseil, 2007).



Uma adição importante à Teoria da Intensidade do Uso foi dada por Lohani e Tilton (1993). Eles demonstraram que países de industrialização mais recente não percorrem a mesma curva de intensidade já percorrida pelos países desenvolvidos, mas sim uma curva com níveis mais baixos de intensidade. Isto se dá porque estes podem importar tecnologia dos países ricos, dando desta forma saltos (*leapfrogging*) no seu processo de industrialização.

A Figura 9 acima corrobora a hipótese de Lohani e Tilton (1993). Durante o período de transição (isto é, entre o pico de intensidade e a estabilização em um patamar mais baixo), pode-se notar claramente que o Japão apresentou patamares mais baixos de intensidade do uso de aço que a Europa Ocidental, que por sua vez apresentou

patamares mais baixos que a América do Norte. Isto é consistente com a ordem cronológica em que cada uma destas economias iniciou sua transição para uma fase pósindustrial (primeiramente os EUA, seguidos por Europa Ocidental e posteriormente o Japão).

Pode-se testar rapidamente esta hipótese para o caso brasileiro, como na regressão abaixo. No caso, se regrediu a intensidade do consumo de aço no país de 1952 a 2011 contra o PIB *Per capita* no mesmo período e uma variável de tempo que vai do valor 1 para 1952 até 60 em 2011:

Tabela 4: Intensidade de uso do aço no Brasil.

Esta tabela contém os resultados da estimação por Mínimos Quadrados Ordinários da intensidade do uso de aço no Brasil no período 1952-2011, sendo as variáveis explicativas o PIB *per capita* (em Reais de 2011, informação do IPEA) e o tempo, *proxy* do avanço tecnológico, que assume valores de 1 em 1952 a 60 em 2011.

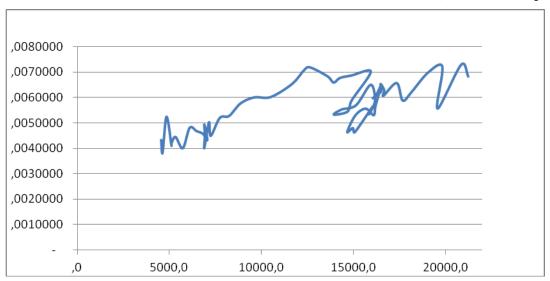
	<b>Variável Dependente</b> Intensidade do Uso	
Variáveis Explicativas	Coeficiente	
Constante	( <b>Desv. Pad</b> ) 0,003067* 0,000316	
PIB per Capita	3,31E-07*	
	(5,91E-08)	
Tempo	-5,44E-05*	
	(1,64E-05)	
R <sup>2</sup>	0,606414	
R² Ajustado	0,592604	

<sup>\*, \*\*</sup> e \*\*\* indicam significância estatística aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Na tabela acima, Intensidade do Uso é o consumo de aço do Brasil por unidade do PIB (em Reais de 2011) entre 1952 e 2011, PIB *per capita* é a renda *per capita* do país, em Reais de 2011, e Tempo é a série de 1 (1952) a 60 (2011) já mencionada. Nota-se que os coeficientes de ambas as variáveis explicativas assumem o sinal previsto por Lohani e Tilton (1993), e são significativos a 1%.

No Brasil, a curva de intensidade do uso de aço não segue propriamente o formato de U invertido observado nas economias industrializadas, possivelmente devido ao caráter inconstante (e incompleto) de seus ciclos de desenvolvimento:

Figura 11 – Intensidade do Uso de aço (kg/R\$) x PIB per capita, Reais de 2011 (Fontes: IABr e Ipea)

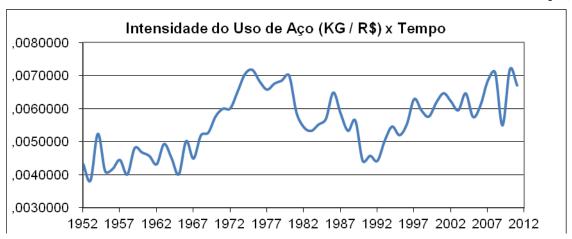


Nota-se que houve um forte incremento da intensidade do uso de aço na economia brasileira no período em que o PIB *per capita* da mesma avançou de cerca de R\$ 7.000 para aproximadamente R\$ 12.000 anuais. Neste nível de renda foi atingido o patamar de 7 gramas consumidos de aço por real do PIB brasileiro. Desde então a intensidade do uso vem oscilando, em geral abaixo deste patamar.

Este nível de renda é, entretanto, bem abaixo do observado em outros países quando estes atingiram seu nível máximo de intensidade do uso de aço. Com efeito, analisando um painel com 61 países, Warrel e Olsson (2009) chegaram à conclusão que a intensidade chega ao pico quando a renda *per capita* do país é de cerca de 28.000 dólares por ano, mais que o dobro da atual renda brasileira. Naturalmente, cada país tem um pico diferente devido às particularidades de sua economia.

Como a taxa de aumento do PIB *per capita* brasileiro ao longo do tempo oscilou muito, e houve de fato períodos prolongados de estagnação e mesmo queda, é interessante também analisar a evolução da intensidade do uso ao longo de tempo, representada na figura abaixo:

Figura 12 – Intensidade do Uso de aço (kg/R\$)x Tempo, Reais de 2011 (Fontes: IABr e Ipea)



A figura acima ilustra, de forma ainda mais clara que o de Consumo *per capita* (Figura 06), como o aumento do uso de aço verificado nas últimas duas décadas foi essencialmente um retorno ao nível de 1980.

A atípica curva de intensidade do uso brasileira, que parece contrariar as hipóteses acima discutidas, ressalta que algumas das deficiências teórica e empíricas da Hipótese da Intensidade do Uso continuam nas suas versões mais sofisticadas que incorporam a Hipótese do Ciclo de Vida dos Produtos. Em particular, não incluir preços, ajuste de mercado e possibilidades de substituição pode levar a erros significativos.

O modelo apresentado na seção seguinte sugere, de acordo com seu autor Valdes (1988), que a intensidade do uso de aço não é inexoravelmente ligada ao nível de renda ou outra medida de desenvolvimento econômico, mas sim a fatores econômicos mais fundamentais tais como preço do aço, mudanças tecnológicas, e o ritmo e direção de mudanças estruturais na economia.

#### Modelando a Intensidade do Uso

Algumas variáveis normalmente incluídas na função de demanda de um metal são o preço do próprio metal, o preço de substitutos e complementos, o nível da atividade econômica e possivelmente um *proxy* para avanço tecnológico. Tilton (1988) sugere uma forma de transformar este modelo básico de demanda para também explicar a intensidade do uso de um metal, que foi adaptada em modelo por Valdes (1988), num trabalho visando antecipar as necessidades energéticas da indústria siderúrgica australiana, servindo de base para este estudo.

O modelo indica que o consumo de um metal depende do nível geral de atividade econômica, da quantidade de metal consumida por cada unidade de bem final produzida pela economia e da produção de cada bem final. Em termos matemáticos, temos:

$$SC_t = PIB_{total,t}CMP_tCPY_t \tag{3}$$

Onde  $SC_t$  é o consumo de aço durante o período t,  $PIB_{total,t}$  é o PIB real total no mesmo período,  $CMP_t$  é a composição material dos produtos (definida como quantidade média de aço empregada em todos os produtos que requerem aço) e  $CPY_t$  é a composição dos produtos da economia, definida como a razão entre o número de produtos que requerem aço para sua manufatura e o nível geral de atividade econômica. Estas duas últimas variáveis serão explicadas nos subtópicos seguintes. Já a Intensidade do Uso de Aço,  $SIU_t$  é a razão entre o consumo de aço e a atividade econômica total, e pode ser expressa como:

$$SIU_{t} = \frac{SC_{t}}{PIB_{total,t}} = CMP_{t}CPY_{t} \tag{4}$$

#### Composição de Produtos da Economia

A composição de produtos da economia é importante para este modelo porque alguns setores são muito mais intensivos em aço do que outros. Valdes (1988) analisa tanto a mudança no peso relativo de cada setor da economia quanto a mudança na natureza dos produtos manufaturados (de manufaturas tradicionais intensivas em aço para de alta tecnologia, menos intensivas). A intensidade do consumo nacional de aço dependerá do peso relativo dos setores intensivo em aço em relação à economia como um todo. Valdes (1988) emprega a soma dos PIBs de construção civil e do setor manufatureiro. Por não existir a última série no Brasil, neste trabalho será empregado como *proxy* o PIB do setor de autoveículos. Estes setores combinados responderam por 58,7% do consumo de aço no Brasil em 2009 (IABr, 2010).

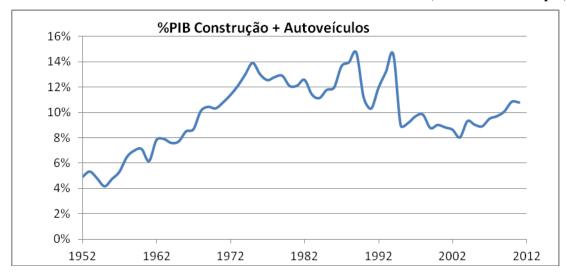
Tem-se, portanto:

$$INTER_{t} = \frac{PIB_{auto,t} + PIB_{const,t}}{PIB_{total,t}} \tag{5}$$

Onde  $INTER_t$  (de mudanças intersetoriais) é a variável que representa a evolução relativa dos setores intensivos em aço da economia.

A figura abaixo ilustra a variação da participação combinada dos setores de construção civil e autoveículos no PIB brasileiro, de 1952 ao presente:

Figura 13 – %PIB Construção + Autoveículos (Fontes: Anfavea e Ipea)



Nota-se um grande aumento na participação destes setores de meados da década de 1950 até o final da década de 1980, quando foi atingido o pico histórico de quase 15% do PIB. Durante a década de 1990 a participação destes setores no PIB caiu bruscamente, mantendo-se em nível historicamente baixo até começar a recuperar-se por volta de 2007. É notável certa semelhança com a figura da Figura 4, que representa a evolução do consumo de aço no Brasil.

O segundo item a ser analisado na composição de produtos da economia diz respeito às mudanças intrassetoriais do setor manufatureiro, ou seja, à evolução da porcentagem do setor composto por manufaturas tradicionais, intensivas em aço. Em países desenvolvidos, estas foram nas últimas décadas dando lugar progressivamente às manufaturas de alta tecnologia, que empregam predominantemente outros materiais. Como não foi empregada no item acima uma série de manufaturas e sim de veículos automotivos, que são um subgrupo intensivo em aço das manufaturas como um todo, este segundo item não precisa ser calculado separadamente.

Ao contrário do modelo de Valdes (1988), no caso brasileiro uma parte significativa (ainda que minoritária) dos setores intensivos em aço não está representada pela variável *INTER*<sub>t</sub>. Recorreu-se, portanto, à inclusão de uma nova série histórica, a da

porcentagem da população urbana. Como já mencionado, países em processo de urbanização apresentam rápido aumento na sua intensidade do uso de aço e, como fica claro neste modelo, este aumento não se limita ao provocado pelo crescimento relativo do setor de construção civil.

A porcentagem da população urbana do Brasil é divulgada pelo IBGE somente a cada dez anos, após os Censos. A maneira adotada para se obter a urbanização em um ano intermediário foi calcular a taxa média anual de urbanização de cada década, e aplicá-la a cada ano. O resultado deste cálculo entre 1952 e 2011 pode ser observado na figura abaixo:

(Fonte: IBGE) Porcentagem da População Urbana 90% 80% 70% 60% 50% 40% 30% 20% 10% 0% 1952 1962 1972 1982 1992 2002 2012

Figura 14 – Porcentagem da População Urbana

Trata-se naturalmente de uma série correlacionada com o tempo, mas a taxa com a qual a urbanização se deu, que é o dado relevante neste caso, variou bastante. A população brasileira se urbanizava a uma taxa média de 2,30% ao ano durante a década de 1960 (que foi a década na qual o país tornou-se predominantemente urbano) contra apenas 0,30% ao ano na primeira década do século XXI.

A equação no caso desta variável é:

$$URBANA_{t} = \frac{POPULA \tilde{CAO}_{urbana,t}}{POPULA \tilde{CAO}_{total,t}} \tag{6}$$

#### Composição Material dos Produtos

Mudanças na composição material dos produtos advêm principalmente de novas tecnologias que permitem economizar recursos e por substituição de materiais, ambos os fatores influenciados pelo preço do aço e por evolução tecnológica (Tilton, 1988). Idealmente deveria ser considerado o preço do aço em relação a todos seus substitutos e complementos; dada a grande variedade de substitutos e complementos existentes, Valdes (1988) emprega somente o preço real do aço. No caso brasileiro, esta série sozinha mostrou-se inadequada para modelar a composição material dos produtos, e, portanto, foram feitas algumas adições ao modelo, como explicado a seguir.

O preço do aço é importante para o modelo porque, num mercado competitivo, a quantidade demandada de um insumo é inversamente proporcional ao preço do mesmo. Desta forma, CMP, deve cair com aumento no preço real do aço, ceteris paribus (Valdes, 1988). Neste estudo foi empregada para representar o preço real do aço no Brasil a série "IPA-OG[32] - Ferro, Aço e Derivados", da FGV, e descontada a inflação. O preço médio de 1994 foi tomado pela FGV como 100. Esta série foi descontinuada no final de 2008 e, portanto, para o período de 2009 a 2011 foi utilizada a variação (descontada da inflação) da série "IPA-Origem - OG-DI - Produtos Industriais – Indústria de Transformação – Metalurgia Básica", sugerida pela própria FGV como substituta.

A variação do preço real do aço no Brasil, com a média de 1994 assumindo o valor 100, pode ser vista na figura abaixo:

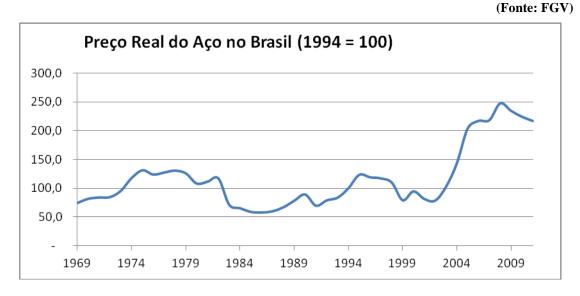


Figura 15 – Evolução do preço real do aço no Brasil

Nota-se o predomínio de baixos preços durante boa parte da década de 1980 (fase onde o consumo de aço *per capita* do Brasil atingiu seus maiores valores). A partir de 2003 inicia-se uma escalada sem precedentes do preço real do aço que, apesar da substancial queda em consequência da crise de 2008-2009, continua no presente em patamares historicamente elevados.

Como mencionado acima, o controle da composição material dos produtos apenas pelo preço real do aço mostrou-se ineficaz no modelo brasileiro, e desta forma buscou-se adaptar o modelo com variáveis relevantes ao contexto nacional. Dado o grande peso do setor de construção civil no consumo de aço nacional, foi acrescida uma série histórica com os preços reais da construção, funcionando como *Proxy* para o preço dos complementos do aço. Espera-se que, *ceteris paribus*, quanto maiores os preços dos materiais de construção, menor a intensidade do consumo de aço. Neste estudo foi utilizada para representar o preço real dos materiais de construção no Brasil série "IPA-DI – materiais de construção", e descontada a inflação. O preço de agosto de 1994 foi tomado pela FGV como 100.

A variação do preço real dos materiais de construção no Brasil, com agosto de 1994 assumindo o valor 100, pode ser vista na figura abaixo:

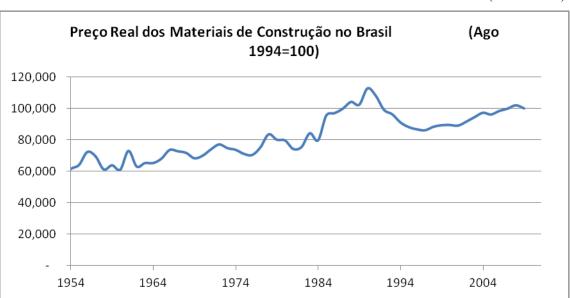


Figura 16 – Evolução do preço real dos materiais de construção no Brasil (Fonte: FGV)

Nota-se um aumento regular até 1986, seguido de um período de rápido aumento até 1992. Os preços declinam deste ano até 1998, recuperando então sua trajetória ascendente.

Uma diferença importante entre o mercado siderúrgico brasileiro e o australiano, descrito por Valdes (1988), é a importância do mercado externo no caso do Brasil. Ao contrário da Austrália, cuja indústria é voltada quase exclusivamente para o mercado interno, no Brasil as exportações corresponderam em média, na última década, a 35% do total produzido. As importações também têm papel mais importante no Brasil do que na Austrália, tanto historicamente quanto no presente. As condições externas, portanto, podem ter influência relevante sobre a intensidade do uso do aço no Brasil.

Diversas variáveis externas podem ter impacto sobre o consumo nacional: a demanda externa, a taxa de câmbio entre o Real e as moedas estrangeiras, o preço dos diversos produtos siderúrgicos no exterior, etc. A dimensão do impacto externo sobre o consumo nacional dependerá também do quão aberto é o mercado brasileiro, isto é, de que tarifas se impõem aos produtos importados. Nota-se a dificuldade de se controlar para todos estes fatores num modelo. O que é claro é que a dinâmica do mercado externo pode influenciar fortemente a intensidade do uso de aço no Brasil.

Uma variável que demonstrou grande relevância no modelo, aparentemente controlando de forma satisfatória para o mercado externo, foi o percentual de importações de aço, isto é, o total de aço importado num dado ano dividido pela produção nacional de aço no mesmo ano. Quando o aço externo apresenta baixo custo relativo ao nacional, esta variável tende a aumentar, assim como a intensidade do uso de aço (*ceteris paribus*), já que os consumidores brasileiros terão acesso a aço por um preço menor do que o indicado pelos preços nacionais. Temos, portanto:

$$PERCENT\_IMPORT_t = \frac{IMPORTAÇ\tilde{O}ES_t}{PRODUÇ\tilde{A}O_t}$$
 (07)

A figura abaixo ilustra a evolução do tamanho relativo das importações face à produção nacional da década de 1950 ao presente:

Importações / Produção

60%
50%
40%
30%
20%
10%
1952
1962
1972
1982
1992
2002
2012

Figura 17 – Evolução do preço real dos materiais de construção no Brasil (Fonte: FGV)

Nota-se uma tendência de queda, ainda que interrompida por vários surtos de importação, entre meados da década de 1950 até o final da década de 1960. Na primeira metade da década de 1970 há um crescimento vertiginoso do percentual importado, que experimenta depois forte queda e se mantém em patamar bastante reduzido até 2006, quando se inicia outro ciclo de aumento das importações.

#### Especificação do Modelo

A Equação 04 demonstra que a intensidade do uso de aço é uma função da composição de produtos da economia e da composição material dos produtos. Nos subtópicos acima, foi argumentado que:

$$CPY_t = f(INTER_t, URBANA_t)$$
(8)

e

$$CMP_{t} = f(PRI_{t}, PRI_{t}CONST_{t}, PERCENT_{t}IMPORT_{t}TEC_{t})$$
(9)

É necessário selecionar funções matemáticas para as equações acima. Seguindo a recomendação de Valdes (1988), por facilidade de estimação e pelo fato que os elementos do lado direito da Equação 4 estão se multiplicando, optou-se por um modelo multiplicativo, resultando em:

$$CPY_t = k_8 INT E R_t^{k2} URBAN A_t^{k3} \tag{10}$$

$$CMP_{t} = k_{9}PRI_{t}^{k4}PRI_{t}CONST_{t}^{k5}PERCENT_{t}IMPORT_{t}^{k6}TEC_{t}^{k7}$$

$$(11)$$

Onde os fatores de escala  $k_8$  e  $k_9$  devem ser positivos, pois  $SIU_t$ ,  $CPY_t$ ,  $CMP_t$ ,  $INTER_t$ ,  $PRI_t$ 

O próximo passo na especificação do modelo é a escolha da *proxy* para a evolução tecnológica (**TEC**<sub>t</sub>). Como já mencionado, desde Lohani e Tilton (1993) tornou-se praxe incluir alguma variável de evolução tecnológica em modelos de intensidade do uso, uma vez que novas tecnologias permitem reduzir a quantidade de aço necessária para fabricar os mesmos produtos. É comum nestes modelos assumir que **TEC**<sub>t</sub> é uma função linear do tempo, como é feito aqui:

$$TEC_{t} = TEMPO_{t}^{k7} \tag{12}$$

Onde *TEMPO*<sub>t</sub> é definido como o ano em questão menos 1951, assumindo, portanto, no intervalo estudado de 1952 a 2011, valores entre 1 e 60. Como já discutido, espera-se que esta variável tenha sinal negativo, pois o avanço tecnológico tende a reduzir a quantidade necessária de aço para a manufatura de qualquer dado produto.

A forma final da expressão matemática de  $SIU_t$  é obtida pela substituição da Equação 12 na Equação 11, e posteriormente das Equações 10 e 11 na Equação 04, levando a:

$$SIU_t = k_1 INTER_t^{k2} INTRA_t^{k3} PRI_t^{k4} PRI_{-}CONST_t^{k5} PERCENT_{-}IMPORT_t^{k6} TEC_t^{k7} \quad (13)$$

Onde:

$$k_1 = (k_8 k_9)$$

A Equação 13 é a base para análise estatística de  $SIU_t$ .

#### Análise Empírica

A Equação 11 é não linear em todos os coeficientes exceto  $k_1$ . A estimação dos parâmetros pode ser simplificada ao se tomar o logaritmo natural de ambos os lados da equação, obtendo-se:

$$\begin{split} \ln(\mathit{SIU}_t) &= \ln(k_1) + k_2 \ln(\mathrm{INTER}_t) + k_3 \ln(\mathrm{URBANA}_t) + k_4 \ln(\mathrm{PRI}_t) \\ &+ k_5 \ln(\mathrm{PRI}_{\mathrm{CONST}_t}) + k_6 \ln(\mathrm{PERCENT}_{\mathrm{IMPORT}_t}) + k_7 \ln(\mathrm{TEMPO}_t) + \epsilon_t \end{split} \tag{14}$$

Onde:

$$\begin{split} E[\varepsilon_t] &= 0 \\ \sigma^2 \Big[ \varepsilon_t | INTER_t, URBANA_t, PRI_t, PRI_{CONST_t}, PERCENT_{IMPORT_t}, TEMPO_t \Big] \\ &= constante \end{split}$$

Os resultados da estimação da equação acima estão na tabela abaixo:

#### Tabela 5: Técnica de Intensidade do Uso.

Esta tabela contém os resultados da estimação por Mínimos Quadrados Ordinários e matriz de covariância padrão. da intensidade do uso de aço no Brasil, SIU (em toneladas por real do PIB), entre 1952 e 2011, de acordo com modelo baseado na Técnica de Intensidade do Uso. As variáveis explicativas, todas com dados entre 1952 e 2011, são INTER, que mede o tamanho relativo do setor intensivo em aço na economia, URBANA, a porcentagem urbana da população brasileira, PRI, o preço real do aço no Brasil, com preço de 1994 assumindo o valor 100, PRI\_Const, o preço real dos materiais para construção civil no Brasil (complemento do aço), com o preço de 1994 assumindo o valor 100, PERCENT\_IMPORT, a razão entre a quantidade de aço bruto importada e a produção nacional do metal e TEMPO, proxy do avanço tecnológico que assume valores de 1 em 1952 a 60 em 2011. Na coluna da direita encontram-se os coeficientes das variáveis explicativas e abaixo dos mesmos, entre parênteses, seus desvios-padrões.

	Variável Dependente SIU
Variáveis Explicativas	Coeficiente
С	( <b>Desv. Pad</b> ) -0,776056 (0,671335)
LOG(INTER)	0,251298* (0,046945)
LOG(URBANA)	1,263413* (0,182449))
LOG(PRI)	-0,032156 (0,04316)
LOG(PRI_CONST)	-0,582263* (0,120254))
LOG(PERCENT_IMPORT	(0,014653))
LOG(TEMPO_NORMAL)	-0,085347*** (0,042912))
R <sup>2</sup>	0,842697
R² Ajustado	0,824889
Estatística F	47,3216
Probabilidade (Est. F) Est. Durbin-Watson	0 2,078233

<sup>\*, \*\*</sup> e \*\*\* indicam significância estatística aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

A estatística de Durbin-Watson de 2,08 indica que a correlação serial de primeira ordem não é um problema. Já o  $R^2$  ajustado de 0,82 sugere que o modelo é capaz de explicar a maior parte da variação da intensidade do consumo de aço no Brasil, mas uma parte significativa permanece inexplicada. Todos os coeficientes têm os sinais esperados e são significativos a 95%, com exceção de  $\mathbf{k}_4$  (que multiplica o logaritmo do preço de aço) e  $\mathbf{k}_7$ , que multiplica o tempo (este último é significativo a 90%).

Os Testes de White e Breusch-Pagan para heterocedasticidade não foram capazes de rejeitar a hipótese da homocedasticidade dos resíduos, de forma que não foi empregada qualquer matriz de covariância para efetuar correção.

#### Interpretação dos Resultados Empíricos

Os parâmetros  $\mathbf{k_2}$  e  $\mathbf{k_3}$  (que multiplicam os logaritmos de INTER<sub>t</sub> e URBANA<sub>t</sub>, respectivamente) podem ser interpretados como elasticidades, e ambos são significativos a 1%. Isto significa que um aumento (diminuição) de 1% na percentagem do PIB composta pela construção civil e pelo setor de autoveículos resultará num aumento (diminuição) de 0,25% na intensidade do uso de aço no Brasil. Já um aumento (diminuição) de 1% na proporção urbana da população brasileira resultará num aumento (diminuição) de 1,26% na intensidade do uso de aço, sendo esta a variável com impacto mais forte no modelo.

É também de interesse o efeito sobre o consumo de aço da mudança no PIB, mantidas todas as variáveis do modelo constantes. O primeiro efeito, para um aumento de 1% do PIB, é uma diminuição na intensidade do uso igual a  $\mathbf{k_2}$ , ou seja, de 0,25%. Isto se dá pela diminuição do tamanho relativo dos setores intensivos em aço na economia, representados por INTER<sub>t</sub>. Já a demanda total por aço, ao contrário, aumentaria em 1- $\mathbf{k_2}$ , isto é, em 0,75%. Em outras palavras, o aumento no nível geral da atividade econômica mais do que compensa a redução na intensidade do uso.

A interpretação de  $\mathbf{k_4}$  é também simples, pois se trata da elasticidade-preço da demanda. O coeficiente sugere que um aumento de 1% no preço do aço leva a uma diminuição de 0,03% na intensidade do uso do metal (ou vice-versa). A estatística-t deste coeficiente, no entanto, sugere que este resultado não é significativo, de forma que não é possível afirmar que o coeficiente seja estatisticamente diferente de zero. A falta

de impacto de mudanças no preço sobre a demanda por aço não é inesperada, e já foi observada em diversos estudos<sup>15</sup>.

O coeficiente de  $k_5$ , significativo a 1%, indica que um aumento (diminuição) de 1% nos preços de materiais de construção leva a uma diminuição (aumento) de 0,58% na intensidade do uso de aço. Este resultado é esperado, por se tratar do preço de um complemento do aço (no Brasil o setor de construção civil é o maior consumidor de aço). É notável que neste caso o impacto do preço dos complementos seja bem superior ao impacto do aumento do preço do produto em si.

A quinta variável explicativa, as importações de aço como percentagem da produção total, foi importante para o modelo mais como fator de controle do que variável explicativa propriamente dita. Apesar de ser significativo a 1%, o coeficiente  $\mathbf{k_6}$  indica que um aumento (diminuição) de 1% no porcentual das importações face à produção nacional levaria a um aumento (diminuição) de apenas 0,10% na intensidade do uso.

Finalmente, o coeficiente  $k_7$  indica que, conforme o esperado, a passagem do tempo (e, consequentemente, o avanço tecnológico) tem impacto negativo sobre a intensidade do uso de aço. Este coeficiente é significativo apenas a 10%. Para cada 1% de aumento na variável TEMPO<sub>t</sub>, haverá uma diminuição de 0,08% na intensidade do uso (obviamente, não cabe neste caso o oposto). Isto significa que o impacto do avança de cada ano vai diminuindo, à medida que cada ano representa um aumento menor da sempre crescente série TEMPO<sub>t</sub>. Desta forma, o avanço de 2010 para 2011 representou uma diminuição de 0,14% na intensidade do uso de aço, mantidas as outras variáveis constantes. Já avanço de 2020 para 2021, por exemplo, representará diminuição de pouco mais de 0,12%.

#### Desempenho do Modelo

Neste tópico será analisado tanto o desempenho do modelo dentro da amostra, isto é, estimando-se o modelo com dados de todo período considerado (1952 a 2011) e comparando os resultados previstos por este com os observados na realidade; quanto fora da amostra, isto é, construindo-se o modelo com dados restritos até certo ponto no

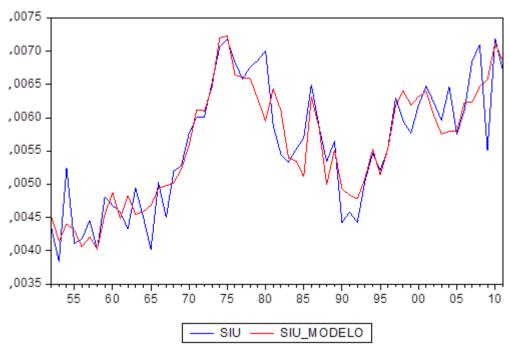
<sup>&</sup>lt;sup>15</sup> Newcomb (1976).

passado (neste caso, 2005) e comparando as estimativas do modelo para o restante do período (2006-2011) com as observadas na realidade.

#### Desempenho dentro da Amostra

A figura abaixo compara a intensidade real do uso de aço no Brasil (SIU) com a intensidade prevista pelo modelo (SIU\_MODELO), no período de 1952 a 2011:

Figura 18 – Comparação dos valores previstos pelo modelo para SIU com a realidade



O modelo consegue explicar satisfatoriamente as tendências da intensidade do uso de aço no Brasil ao longo dos anos, ainda que não capture as grandes oscilações bruscas, como a observada em 2009, no auge da crise financeira global (houve neste ano uma redução de 22,5% no consumo de aço por unidade do PIB frente a 2008, enquanto o modelo previa aumento de 3,6%). De fato, o R² ajustado do modelo aumenta para 0,84 se limitamos o período a 2008.

A média do módulo dos erros do modelo foi de 5,05%, ou 0,000275 em termos absolutos. Já a raiz do erro quadrático médio foi de 0,000376, ou 6,73% da intensidade do uso média. Como se pode notar da Figura 15, o erro não foi uniformemente distribuído ao longo do tempo. O modelo mostrou-se mais preciso no período de 1968-1978 (fase de grande industrialização nacional), seguido do período de 1989-2006 (fase

de retomada do crescimento da intensidade do uso). Por outro lado, mostrou-se mais impreciso no período 2007-2011 (grandes flutuações em decorrência da crise financeira e recuperação) e de 1979-1988 (a turbulenta "década perdida" do país).

Uma maneira mais clara de observar o desempenho do modelo é aplicá-lo ao consumo de aço, isto é, multiplicar a intensidade do uso projetada pelo PIB de cada ano para se obter o consumo aparente total. A figura abaixo compara o consumo aparente real de aço no Brasil com o previsto pelo modelo, bem como a diferença entre os dois:

35000,0 30000,0 25000,0 20000,0 15000.0 10000.0 5000,0 1962 1972 1982 1992 2002 (5000,0)Consumo Real Consumo Modelo - Diferença (Modelo - Real)

Figura 19 – Comparação dos valores previstos pelo modelo para o consumo com a realidade, em milhares de toneladas

Apesar de ter superestimado o consumo nacional no período de 2009-2011 (por não antecipar a drástica redução causada pela crise), a média do módulo dos erros foi de apenas 521,3 mil toneladas por ano, ou 4,86% do consumo médio. A raiz do erro quadrático médio foi de 898,53 mil toneladas, ou 8,51% do consumo anual médio.

# Desempenho Fora da Amostra

Para esta análise de desempenho, o modelo foi estimado com dados de 1952 a 2005 (em 2006 inicia-se o período de grande importação de aço). A tabela abaixo contém os resultados desta regressão em período menor:

#### Tabela 6: Técnica de Intensidade do Uso.

Esta tabela contém os resultados da estimação por Mínimos Quadrados Ordinários e matriz de covariância padrão da intensidade do uso de aço no Brasil, SIU (em toneladas por real do PIB), entre 1952 e 2005, de acordo com modelo baseado na Técnica de Intensidade do Uso. As variáveis explicativas, todas com dados entre 1952 e 2005, são INTER, que mede o tamanho relativo do setor intensivo em aço na economia, URBANA, a porcentagem urbana da população brasileira, PRI, o preço real do aço no Brasil, com preço de 1994 assumindo o valor 100, PRI\_Const, o preço real dos materiais para construção civil no Brasil (complemento do aço), com o preço de 1994 assumindo o valor 100, PERCENT\_IMPORT, a razão entre a quantidade de aço bruto importada e a produção nacional do metal e TEMPO, proxy do avanço tecnológico que assume valores de 1 em 1952 a 54 em 2005. Na coluna da direita encontram-se os coeficientes das variáveis explicativas e abaixo dos mesmos, entre parênteses, seus desvios-padrões.

	<b>Variável Dependente</b> SIU
Variáveis Explicativas	Coeficiente
С	(Desv. Pad) -0,892565 (0,712944)
LOG(INTER)	0,250439* (0,046462)
LOG(URBANA)	1,257477* (0,175744)
LOG(PRI)	-0,031577 (0,048581)
LOG(PRI_CONST)	-0,556384* (0,122372)
LOG(PERCENT_IMPOR	T) 0,101283* (0,014646)
LOG(TEMPO_NORMAL)	-0,082982*** (0,041296)
R²	0,84975
R <sup>2</sup> Ajustado	0,830569
Estatística F	44,30192
Probabilidade (Est. F) Est. Durbin-Watson	0 1,978517

<sup>\*, \*\*</sup> e \*\*\* indicam significância estatística aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Como esperado, os resultados são semelhantes aos exibidos na Tabela 5, uma vez que foram suprimidos apenas 6 anos de um total de 60. A não inclusão dos anos da crise

financeira mundial, entretanto, elevou ligeiramente o R<sup>2</sup> Ajustado, de 0,82 para 0,83. A estatística de Durbin-Watson continua a não indicar presença de correlação serial.

A figura abaixo, análogo ao da Figura 18, compara a intensidade real do uso de aço no Brasil (SIU) com a intensidade prevista pelo modelo (SIU\_MODELO), no período "fora da amostra", ou seja, de 2006 a 2011:

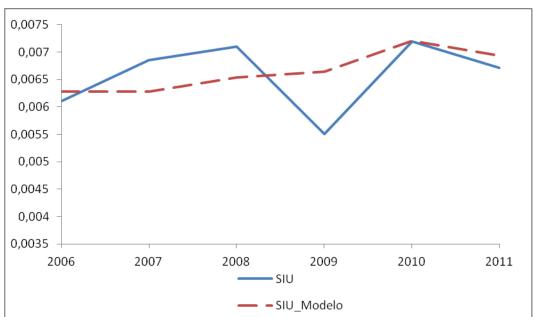


Figura 20 – Comparação dos valores previstos pelo modelo para SIU com a realidade, no período fora da amostra (2006-2011)

Assim como no caso dentro da amostra, o modelo apresentou a maior deficiência durante crises (neste caso, na de 2009). O modelo não previu um crescimento tão intenso da intensidade do uso em 2007 e 2008 (apesar de ter previsto crescimento), nem a queda brusca de 2009. Em 2006, 2010 e 2011 as estimativas obtidas se aproximaram muito dos valores reais observados. A média do módulo dos erros foi para este período de 6,74%. A raiz do erro quadrático médio foi de 0,000581, ou 8,83% da intensidade do uso média do período.

Assim como na análise de desempenho dentro da amostra, é interessante realizar a análise utilizando os estimativas de intensidade para se obter a projeção do modelo para consumo de aço no período, e compará-la com o que de fato ocorreu. Isto é feito pela figura abaixo:

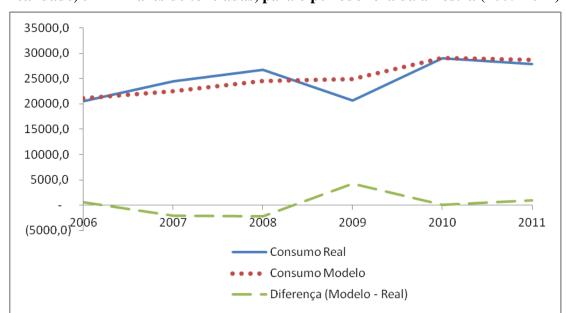


Figura 21 – Comparação dos valores previstos pelo modelo para o consumo com a realidade, em milhares de toneladas, para o período fora da amostra (2005-2011)

Como esta análise está focada num período particularmente turbulento para o setor siderúrgico, o erro médio do modelo foi consideravelmente superior ao do período completo (dentro da amostra), sendo aqui de 271 mil toneladas por ano (a mais), ou 1,08% do consumo médio. Já a média do módulo dos erros foi de 1,67 milhão de toneladas por ano, ou 6,63% do consumo médio. O erro quadrático médio foi de 2,17 milhões de toneladas, ou 8,71% do consumo anual médio.

# Aplicação do Modelo

Os resultados permitem algumas constatações sobre o consumo de aço passado do Brasil e especulações sobre o consumo futuro. É necessário cautela ao analisar estas aplicações, que sempre partem de premissas fortes.

#### Passado Recente

Na última década (2002-2011), o consumo aparente de aço bruto no país avançou quase 52%, de 18,32 milhões de toneladas para 27,81 milhões. Neste mesmo período, a intensidade do uso de aço no Brasil aumentou apenas 7,78%. Em outras palavras, o aumento do consumo resultou primariamente do crescimento do PIB, e não de alterações estruturais na economia que elevaram a intensidade do uso de aço da mesma. Mantido o PIB e a população constantes entre 2002 e 2011, o consumo de aço nacional seria de 19,743 milhões de toneladas, e o consumo *per capita* de 112,99 toneladas, ao

invés das 144,44 verificadas. Ou seja, o crescimento do PIB foi responsável por um aumento de 8,07 milhões de toneladas, contra apenas 1,43 milhões decorrentes do aumento da intensidade.

O modelo permite uma análise mais detalhada destas 1,43 milhões de toneladas que foram consumidas em 2011 em decorrência do aumento da intensidade do uso de aço no Brasil na última década. O setor intensivo em aço da economia (representado aqui pelos setores de construção civil e autoveículos) aumentou sua participação no PIB em 25%, atingindo 10,79% do total. De acordo com o modelo, tal variação resultou num aumento do consumo de 522 mil toneladas.

Outro fator que impacta a intensidade do uso de aço no modelo é a taxa de urbanização. Nesta última década, a população do Brasil continuou a se tornar mais urbana, ainda que num ritmo bem menor do que nas décadas anteriores. A taxa de urbanização aumentou 2,59% no período, com um impacto de 298 mil toneladas adicionais consumidas.

Já o preço do aço aumentou 251% no período, levando a uma diminuição do consumo de 264 mil toneladas. É necessário frisar, no entanto, que o impacto do aço sobre a intensidade não foi considerado estatisticamente significativo, e, portanto, não se deve considerar esta redução como real. O preço dos materiais de construção também registrou avanço, ainda que bastante inferior, aumentando 10%. Apesar de bem mais modesto, o modelo indica um impacto muito superior sobre o consumo de aço, causando uma redução de 491 mil toneladas.

O *boom* das importações de aço na última década teve, de acordo com o modelo, substancial impacto sobre o consumo. Em 2002 o Brasil importou uma quantidade de aço equivalente a 2,27% da produção doméstica, valor que subiu para 10,76% em 2011 (um aumento relativo de 374%). Apesar do baixo coeficiente que o modelo atribui à variável percentual de importações, este grande crescimento resultou num aumento do consumo de 1,49 milhão de toneladas, o maior dentre todas variáveis neste período. É razoável supor que a valorização do real na última década tornou o aço importado atrativo, possibilitando um aumento da intensidade do uso que não seria verificado caso o país consumisse exclusivamente aço nacional. Ainda que muito significativo frente ao aumento de consumo decorrente da variação na intensidade do uso de aço, cabe ressaltar que é um aumento modesto em relação ao causado pelo aumento do PIB.

Finalmente, o avanço tecnológico (através de sua *proxy*, a passagem do tempo) resultou num decréscimo do consumo de aço brasileiro de 125 mil toneladas em 2011 quando comparado a 2002, um valor irrisório frente ao ocasionado pelo crescimento econômico.

A figura abaixo ilustra o impacto de cada variável, de acordo com o modelo, no aumento consumo de aço do Brasil entre 2002 e 2011:

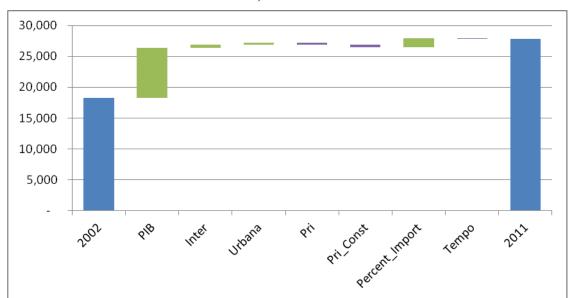


Figura 22— Contribuição de cada variável para o aumento do consumo de aço entre 2002 e 2011, em milhões de toneladas.

Cabe ressaltar que nem sempre houve o predomínio do crescimento do PIB sobre o aumento do consumo de aço no Brasil. De fato, na década anterior à última (1992-2001) foi o aumento da intensidade do uso de aço quem ocasionou o maior aumento do consumo, sendo responsável por um aumento de 4,47 milhões de toneladas contra 4,23 milhões decorrentes do crescimento do PIB (Neste período, a intensidade do uso de aço no país avançou 46%, comparado a um avanço de 29% do PIB, em termos reais).

#### Próximos Anos

Ao contrário dos países desenvolvidos, não há no Brasil tendência de diminuição do peso relativo dos setores intensivos em aço. De fato, após um longo período de declínio e estagnação, a última década viu substancial aumento destes setores, com o efeito positivo sobre o consumo de aço descrito no tópico anterior. Naturalmente, não há qualquer garantia que este crescimento se mantenha.

Da mesma forma, é impossível prever o comportamento futuro do preço do aço e dos materiais para construção civil no país. É interessante traçar alguns cenários analisando

o impacto de mudanças nestas variáveis sobre o consumo futuro, mas não se pode determinar qual cenário ocorrerá.

O efeito da urbanização residual que ainda ocorre no Brasil é mais simples de antecipar. Durante a última década, o Brasil urbanizou-se a uma taxa média de 0,28% ao ano, e a cada ano esta taxa recuou em média 9,84%. Supondo que taxa de urbanização continue a declinar nesta mesma velocidade, entre 2012 e 2021 a proporção urbana da população brasileira aumentará em 1,44%, numa média de 0,14% ao ano. De acordo com as estimativas obtidas, este pequeno acréscimo resultará num aumento de 2,15% da intensidade do uso de aço no Brasil, cujo impacto no consumo de aço dependerá naturalmente de quanto o PIB crescer no período (caso o crescimento seja zero, o impacto no consumo seria de 611 mil toneladas por ano).

Ao contrário do caso da urbanização, o modelo supõe que o contínuo avanço tecnológico terá impacto negativo sobre a intensidade do uso de aço, ainda que decrescente. Nos 10 anos entre 2012 e 2021, as estimativas obtidas apontam que este impacto causará um decréscimo da intensidade do uso de aço de 1,31%, o que representaria uma redução no consumo de 372 mil toneladas por ano em 2021, supondo nenhuma variação do PIB.

Nota-se que o efeito negativo do avanço tecnológico sobre a intensidade do uso na próxima década será mais do que compensado pela pequena urbanização que deve ocorrer no período. De fato, o efeito combinado destas duas variáveis "antecipáveis" deve ser positivo até 2021, a partir de quando a urbanização em andamento será praticamente zero e portanto incapaz de compensar o efeito negativo da passagem do tempo. Mantendo-se todas outras variáveis constantes e avançando apenas a urbanização e o tempo, estima-se que em 2021 a intensidade do uso de aço seria 0,81% superior à registrada em 2011, o que representaria um aumento de consumo de 231 mil toneladas com o PIB de 2011.

Estimativas mais realistas do consumo de aço do Brasil no futuro próximo envolvem necessariamente o uso de projeções sobre o crescimento do PIB. Uma das mais utilizadas é a da *Pardee Center for International Futures*, que projeta um crescimento real do PIB brasileiro de 37,58% entre 2012 e 2021 (média de 3,24% ao ano). Este crescimento econômico, combinado a um avanço na intensidade do uso de aço de 0,80% descrito no "cenário neutro" do parágrafo acima resultaria num consumo total de 39,42 milhões de toneladas em 2021 (43% a mais que em 2011). Considerando no

mesmo um período um crescimento populacional de 5,83% <sup>16</sup>, o país alcançaria 193 kg *per capita* de consumo de aço bruto (34% a mais que em 2011).

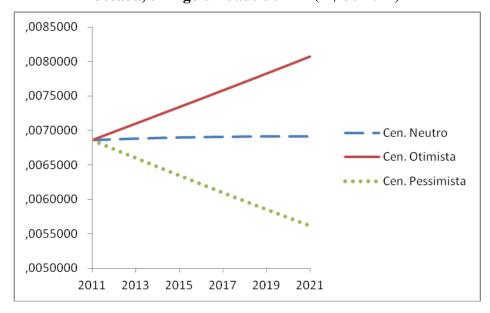
Obviamente, o "cenário neutro" descrito acima é puramente especulativo, pois não há qualquer garantia que a composição da economia se manterá constante, de forma que variações na intensidade do uso de aço podem resultar num consumo muito maior ou menor (além da possibilidade do PIB ter um crescimento distinto da projeção).

Um "cenário otimista" para a intensidade do consumo de aço no Brasil na próxima década pode ser construído como um em que a participação dos setores intensivos em aço na economia continue a se expandir no mesmo ritmo verificado na última década, enquanto os preços do aço e dos materiais para construção civil recuam gradualmente para os patamares registrados no em 2002. Neste cenário, o percentual de aço importado é mantido no elevado nível de 2011. Já um "cenário pessimista" pode ser construído como um em que a participação dos setores intensivos em aço na economia e o percentual de aço importado recuam gradualmente para o nível de 2002, enquanto os preços de aço e dos materiais de construção se mantêm no seu atual patamar elevado.

Em ambos os cenários descritos acima a taxa de urbanização é a mesma do "cenário neutro", já que é altamente improvável que haja uma divergência significativa neste indicador. As mudanças descritas nos três cenários têm efeito somente sobre a intensidade do uso de aço; a determinação do consumo final depende ainda da variação do PIB. Na figura abaixo, mantém-se nos três cenários a mesma projeção para taxa de crescimento do PIB (obtida da *Pardee Center for International Futures*) e para o crescimento populacional (obtida do IBGE). A figura abaixo ilustra a evolução da intensidade do uso de aço nos três cenários descritos:

 $<sup>^{16}</sup>$ IBGE, Projeção da População do Brasil, 2008

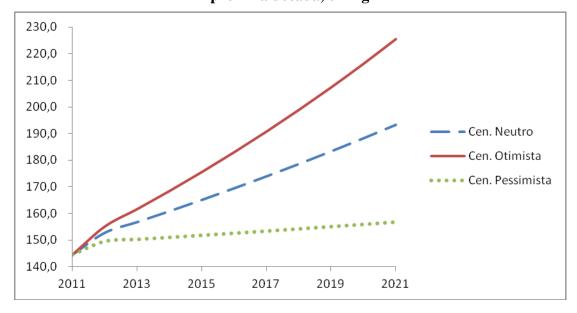
Figura 23 – Três cenários para a intensidade do uso de aço no Brasil na próxima década, em kg / unidade do PIB (R\$ de 2011)



Como já mencionado, no "cenário neutro" a intensidade do uso do aço praticamente permanece constante, avançando 0,80% na década. Já no "cenário otimista" o avanço é bem mais expressivo, totalizando 17,72% no mesmo período. Este aumento é substancialmente maior que o verificado na última década (2002-2011). Por outro lado, no "cenário pessimista" há um recuo da intensidade do uso de 18,14%, comparável ao verificado na década de 1980.

A variação da trajetória do consumo de aço bruto *per capita* dos três cenários resulta unicamente das mudanças na intensidade do uso causadas pelas alterações estruturais na economia supostas nos parágrafos anteriores. Estas trajetórias estão expostas na figura abaixo:

Figura 24 – Três cenários para o consumo de aço bruto per capita do Brasil na próxima década, em kg



Como se pode notar da figura acima, o crescimento do PIB de 3,24% ao ano se confirmado deve garantir no mínimo um modesto aumento no consumo *per capita* de aço bruto do Brasil, que no "cenário pessimista" atinge em 2021 pouco menos de 157 kg, ou 8,60% a mais que em 2011. No extremo oposto, se a intensidade do uso de aço aumentar como no "cenário otimista", o consumo *per capita* atingiria 226 kg, um aumento de 56% em relação a 2011. Já no "cenário neutro", o consumo *per capita* alcançaria os já mencionados 193 kg em 2021, um aumento de mais de 33% na década.

Finalmente, a figura abaixo ilustra a evolução do consumo absoluto de aço no Brasil em cada um dos três cenários traçados, isto é, multiplica os consumos *per capita* da figura acima pela projeção populacional de cada ano:

50000000.0 45000000.0 40000000,0 Cen. Neutro Cen. Otimista 35000000,0 Cen. Pessimista 30000000,0 25000000,0 2010 2012 2014 2016 2018 2020 2022

Figura 25 – Três cenários para o consumo de aço bruto do Brasil na próxima década, em toneladas

Como a população brasileira deve continuar a expandir-se na próxima década (ainda que em ritmo muito mais lento do que no passado), a expansão relativa no consumo total de aço deve ser maior que a do consumo *per capita*. Desta forma, os aumentos estimados frente a 2011 variam de 16,18% no "cenário pessimista", onde o consumo atingiria 32 milhões de toneladas por ano em 2021, até 67,07% no "cenário otimista", onde o consumo atingiria 46 milhões de toneladas por ano. Por sua vez, no "cenário neutro" há aumento de 43,08%, atingindo em 2021 39,4 milhões de toneladas.

## Análises de Robustez

Com o objetivo de analisar a robustez dos resultados descritos nos seçãos anteriores, foi construído um modelo alternativo, mais próximo do originalmente concebido por Tilton (1988) e Valdes (1988). Além disso, para algumas das variáveis explicativas deste modelo, foram empregadas *proxies* diferentes das do modelo principal.

Numa outra análise de robustez, o modelo original foi estimado novamente com a adição de uma variável *dummy* para o ano de 2009, no qual a crise financeira global atingiu fortemente a indústria siderúrgica e onde o modelo original apresentou o maior desvio em relação à realidade, tanto na projeção dentro da amostra quanto fora.

Finalmente, tanto o modelo linear original quanto o modelo alternativo foram estimados pelo método de Mínimos Quadrados em Dois Estágios (GMM no caso do modelo não linear), empregando variáveis instrumentais para o caso de algumas das variáveis explicativas originais serem endógenas.

### Modelo Não Linear

Este modelo emprega *proxies* distintas das do modelo principal, e representa o avanço tecnológico com uma Curva de Gompertz, sendo portanto estimado por Mínimos Quadrados Não Lineares.

# Composição de Produtos da Economia

A composição de produtos da economia, isto é, da percentagem de produtos que levam aço em sua fabricação, será afetada tanto por mudanças inter-setoriais (de setores mais intensivos em aço para setores menos intensivos) quanto intra-setoriais (dentro do setor intensivo, de manufaturas tradicionais mais intensivas em aço para manufaturas avançadas menos intensivas). Neste modelo alternativo, será utilizada como *proxy* do setor intensivo em aço da economia uma séria com o PIB Industrial como percentagem do PIB total. Espera-se que, tudo mais constante, quanto maior o peso do setor industrial na economia maior a intensidade do uso de aço. Temos, portanto:

$$INTER_{t} = \frac{PIB_{industrial,t}}{PIB_{total,t}} \tag{15}$$

A Figura 24 abaixo ilustra a variação da participação do setor industrial na economia brasileira de 1952 a 2011:

Figura 26 – %PIB Industrial

(Fonte: Ipea)

Nota-se um aumento praticamente constante do início da série até a metade da década de 1980, quando a participação do setor industrial entra em acentuado declínio, até estabilizar-se entre 1997 e o presente.

Para representar as mudanças internas do setor intensivo em aço, Valdes (1988) utiliza uma série com o valor agregado das manufaturas tradicionais sobre o valor agregado de todas as manufaturas. Infelizmente, ambas as séries não estão disponíveis para o caso brasileiro. Optou-se, portanto, por empregar uma série com o PIB do setor de autoveículos, importante manufatura tradicional, sobre o PIB Industrial total. Espera-se, ceteris paribus, que quanto maior o peso do setor de autoveículos (proxy das manufaturas tradicionais) no PIB Industrial, maior a intensidade do uso de aço. A formulação matemática é como abaixo:

$$INTRA_{t} = \frac{PIB_{autove\'iculos,t}}{PIB_{industrial,t}} \tag{16}$$

(Fonte: Anfavea e Ipea)

A Figura 25 abaixo ilustra a variação da participação do setor industrial na economia brasileira de 1952 a 2011:

% PIB Autoveículos / PIB Industrial 20,000 18,000 16,000 14,000 12,000 10,000 8.000 6,000 4,000 2,000 1957 1962 1967 1972 1977 1982 1987 1992 1997 2002 2007

Figura 27 – %PIB Industrial

Nota-se acelerado aumento do final da década de 1950 até meados da década de 1970, quando se iniciou um declínio da participação dos autoveículos na indústria nacional. Em 1990 começa outro ciclo de aumento no peso relativo, que perdura até o presente, ultrapassando a marca de 1975.

## Composição Material dos Produtos

Para estimar composição material dos produtos, isto é, a quantidade de aço média presente nos produtos que levam aço em sua fabricação, Valdes (1988) emprega somente o preço real do aço e o nível de avanço tecnológico. No modelo principal, foram incorporadas séries relativas ao preço de complementos do aço (materiais de construção) e ao efeito do mercado externo. Nesta análise de robustez, eliminou-se a série de preços da construção civil, para que haja maior coincidência com o modelo original.

Dada a grande importância tanto das exportações quanto importações de aço no Brasil, entretanto, não é possível deixar de incluir alguma variável relativa ao mercado externo. No modelo principal, optou-se pela percentagem de aço importado em relação ao produzido como *proxy*. Neste, será empregada uma séria de preços reais do aço nos Estados Unidos, de 1952 a 2011, obtida do *US Geological Survey*, atribuindo-se ao preço de 1994 o valor de 100.

Espera-se que, *ceteris paribus*, quanto maior o preço do aço nos EUA (e, consequentemente, no mercado global), menor a intensidade do uso de aço no Brasil. Isto porque preços mais altos no mercado internacional encarecem o preço do aço no Brasil de duas maneiras: se o preço externo é mais barato que o interno (já incluindo impostos, frete, etc.), as importações são vantajosas. Caso o preço externo suba, as importações tornam-se menos vantajosas. Se o preço externo é superior ao brasileiro, um aumento no primeiro leva os produtores nacionais a aumentarem o segundo, já que importar não é economicamente viável neste cenário. De fato, os preços nacionais são muito correlacionados com os preços internacionais, de forma que não há sentido em empregar ambos na mesma regressão. Neste modelo, usa-se apenas a série de preços internacionais (americanos), para analisar a hipótese que estes explicam a intensidade do uso de aço no Brasil melhor que os preços nacionais, incluídos no modelo principal.

Esta série pode ser vista na figura abaixo:

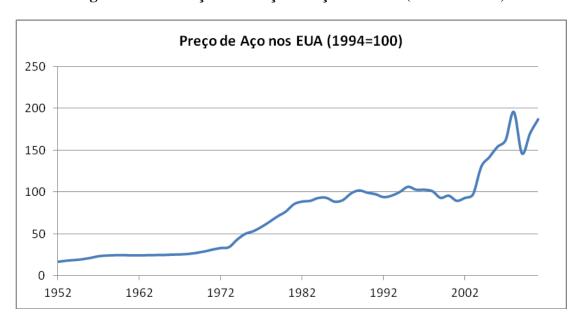


Figura 28 – Evolução do Preço do Aço nos EUA (Fonte: USGS)

Nota-se um aumento lento e gradual do início da série (1952) até os primeiros anos da década de 1970, na qual o preço de aço nos EUA subiu cerca de 150%. Da década de 1980 até 2002 o preço do aço manteve-se estável, oscilando em torno da mesma média, até que nesta última data iniciou um movimento sem precedente de subida, que culminou em 2008. Nos anos entre 2002 e 2008, o preço subiu mais de 110%. Este movimento foi bruscamente interrompido pela crise mundial de 2008/2009, onde houve redução de 25% em apenas um ano. Em 2010 inicia-se recuperação do preço do aço nos EUA, que ao fim desta série encontra-se novamente em trajetória ascendente.

Como já mencionado, outro aspecto que afeta a composição material dos produtos é o avanço tecnológico. Espera-se que, *ceteris paribus*, quanto maior o nível tecnológico menor a quantidade de aço empregada num produto semelhante. Isto porque novas tecnologias permitem economia de recursos, e novos materiais substitutos estão sempre sendo desenvolvidos ou viabilizados economicamente. Existem várias *proxies* que podem ser usadas para representar o avanço tecnológico, todas ligadas ao tempo. No modelo principal, utilizou-se o método mais simples de assumir que o nível tecnológico é uma função linear do tempo (conforme a Equação 12). Com o objetivo de analisar a validade desta escolha, e para se construir um modelo mais próximo do de Valdes (1988), emprega-se neste modelo uma Curva de Gompertz para representar o avanço tecnológico, que permite uma representação mais elaborada das mudanças tecnológicas, sendo caracterizada por uma taxa de mudança inicialmente crescente, que atinge um

máximo e depois declina assintoticamente até zero. Esta curva pode ser formulada como abaixo:

$$TEC_t = k_8 \exp\left(k_7 \exp\left(k_6 TEMPO_t\right)\right) \tag{17}$$

Neste caso,  $TEMPO_t$ é definido como o ano menos 2011, ou seja, assume valores entre -59 (1952) até 0 (2011). Na Equação 17,  $k_8$  representa o valor limitante de  $TEC_t$ ,  $k_7$  reflete a escolha do zero do tempo e  $k_6$  é a constante da taxa que determina o espalhamento da curva ao longo do eixo de tempo.  $k_8$  deve ser positivo porque  $TEC_t$  é definida como uma quantidade positiva. Ao menos um entre  $k_6$  e  $k_7$  deve ser negativo para que não haja crescimento infinito. A variável sobre o impacto do nível tecnológico  $TEC_t$  crescerá com o tempo se ambos forem negativos, caso contrário decrescerá.

# Estimação dos Parâmetros

Adotando mais uma vez um modelo multiplicativo, nesta análise de robustez foi sugerido que:

$$CPY_{t} = k_{9}INTER_{t}^{k2}INTRA_{t}^{k3} \tag{18}$$

e

$$CMP_t = k_{10}PRI\_USA_t^{k4}TEC_t^{k11}$$

$$\tag{19}$$

Combinando as equações acima com a Equação 4, obtém-se:

$$SIU_t = k_1 INTER_t^{k2} INTRA_t^{k3} PRI_I INT_t^{k4} \exp\left(k_5 \exp\left(k_6 TEMPO_t\right)\right)$$
 (20)

Onde: 
$$k_1 = (k_8 k_9 k_{10})$$
 e  $k_5 = k_{11} k_7$ 

Mais uma vez, para simplificar a estimação dos parâmetros toma-se o logaritmo natural de ambos os lados da equação, obtendo-se:

$$\ln(SIU_t) = \ln(k_1) + k_2 \ln(INTER_t) + k_3 \ln(INTRA_t) + k_4 \ln(PRI\_INT_t) + k_5 \exp(k_6 TEMPO_t)$$
(19)

Esta equação é não linear no termo  $k_6$ , o que exige estimação pelo método dos Mínimos Quadrados Não Lineares, descrito em detalhes no Apêndice A deste trabalho. Os resultados da estimação da equação acima estão na tabela abaixo. Como apresentaram

evidência de correlação serial positiva de primeira ordem, empregou-se a Matriz de Covariância de Newey-West, robusta tanto em relação à correlação serial quanto à heterocedasticidade (os Testes de White e Breusch-Pagan, entretanto, não rejeitaram a hipótese de homocedasticidade dos resíduos).

Tabela 7: Técnica da Intensidade de Uso do Modelo Alternativo, com Matriz de Covariância de Newey-West

Esta tabela ilustra os resultados da estimação da intensidade do uso de aço no Brasil entre 1952 e 2011 por Mínimos Quadrados Não Lineares e matriz de covariância de *Newey-West*. As variáveis explicativas, com dados para o mesmo período, são PIB IDUSTRIAL, que mede a participação do setor industrial na economia brasileira, INTRA, que mede a percentagem do PIB Industrial representado pelo setor de autoveículos (*proxy* da participação das manufaturas tradicionais no setor manufatureiro como um todo), PRI\_USA, que é o preço real do aço nos EUA, com o preço de 1994 assumindo o valor 100, o avanço tecnológico modelado através de uma Curva de Gompertz. Na coluna da direita encontram-se os coeficientes das variáveis explicativas e abaixo dos mesmos, entre parênteses, seus desvios-padrões.

	<b>Variável Dependente</b> SIU
Variáveis Explicativas	Coeficiente
	(Desv. Pad)
LOG(CONSTANTE)	375,3116
	(710381,1)
LOG(PIB INDUSTRIAL)	-0.,47604
	(0,161794)
LOG(INTRA)	0,164906***
	(0,097851)
LOG(PRI_USA)	0,140155
	(0.,162265)
K(5)	-12,02747
	(1893,141)
K(6)	0,000355
	(0,056071)
R <sup>2</sup>	0,527088
R <sup>2</sup> Ajustado	0,4833
Est. Durbin-Watson	0,865252

<sup>\*, \*\*</sup> e \*\*\* indicam significância estatística aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Uma primeira análise da tabela acima já revela algumas deficiências deste modelo alternativo. A única variável significativa a um nível de confiança de 90% é INTRA, isto é, a percentagem do PIB Industrial representada pelo setor de autoveículos. O R<sup>2</sup> Ajustado indica que pouco mais da metade da variabilidade da intensidade do uso de

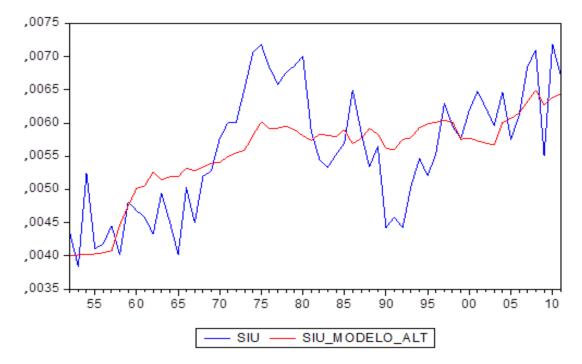
aço no Brasil não é explicada pelo modelo (para efeito de comparação, o R² Ajustado do modelo principal foi de 0,82). Os coeficientes de PIB Industrial e do preço do aço nos EUA não têm os sinais esperados, nem são significativos. Os coeficientes da variável de avanço tecnológico têm, como esperado, sinais opostos, mas tampouco são estatisticamente significativos.

Como a análise de robustez demonstra, este modelo parece confirmar a influência do setor de autoveículos nacional sobre a intensidade do uso de aço no país.

# Desempenho do Modelo Não Linear

A figura abaixo compara a intensidade real do uso de aço no Brasil (SIU) com a intensidade prevista pelo modelo alternativo não linear (SIU\_MODELO\_ALT), no período de 1952 a 2011 (ou seja, dentro da amostra):

Figura 29 – Comparação dos valores previstos pelo modelo alternativo para SIU com a realidade



Nota-se da figura acima que o modelo alternativo consegue, de forma geral, apenas acompanhar a tendência da intensidade do uso de aço real, não prevendo os aumentos ou quedas abruptos, ainda que estes venham a durar vários anos. A análise visual já aponta para menor adequação deste modelo em relação ao original, o que é comprovado pela média do módulo dos erros relativos de 9,86%, comparado a 5,05% do modelo original, também no caso dentro da amostra. Já a raiz do erro quadrático médio foi de

0,000650, ou 11,63% da intensidade do uso média entre 1952 e 2011, comparada a 6,73% no modelo original, confirmando a menor precisão das estimativas do modelo alternativo não linear.

O desempenho fora da amostra do modelo alternativo (com dados de 1952 a 2005), para o período de 2006 a 2011, pode ser observado na figura abaixo:

Preço de Aço nos EUA (1994=100)

250

200

150

50

1952

1962

1972

1982

1992

2002

Figura 30 – Comparação dos valores previstos pelo modelo alternativo para SIU com a realidade

Nota-se da figura da Figura 30 acima que no período fora da amostra (2006-2011) o modelo alternativo subestimou consistentemente a intensidade do uso de aço no Brasil, exceto no ano de crise de 2009, que não foi prevista pelo mesmo. A média do módulo dos erros foi de 9,65%, bem superior aos 6,74% verificados no modelo original. A raiz do erro quadrático médio foi de 0,000695, ou 10,56% da intensidade do uso de aço média do período fora da amostra (comparada a 8,83% no modelo original, para o mesmo período).

### Modelo Linear com Dummy

A análise de robustez aqui proposta consiste tão somente em acrescentar uma variável dummy, com valor 1 para o ano de 2009 e zero para todos os demais, ao modelo linear original. O ano de 2009 foi o que apresentou maior erro na comparação da projeção do modelo original com a realidade observada, tanto no período dentro quanto fora da amostra. Deseja-se, portanto, testar se a introdução desta variável ao modelo melhorará de forma perceptível seu desempenho. A equação a ser resolvida é:

$$\begin{split} &\ln(SIU_t) = \\ &\ln(k_1) + k_2 \ln(\text{INTER}_t) + k_3 \ln(\text{URBANA}_t) + k_4 \ln(\text{PRI}_t) + k_5 \ln(\text{PRI}_{\text{CONST}_t}) + \\ &k_6 \ln(\text{PERCENT}_{\text{IMPORT}_t}) + k_7 \ln(\text{TEMPO}_t) + k_8 \text{Dummy}_{2009} + \epsilon_t \end{aligned} \tag{20}$$

Os resultados da regressão são os apresentados na tabela abaixo:

### Tabela 8:Técnica de Intensidade do Uso

Esta tabela contém os resultados da estimação por Mínimos Quadrados Ordinários e matriz de covariância padrão. da intensidade do uso de aço no Brasil, SIU (em toneladas por real do PIB), entre 1952 e 2011, de acordo com modelo baseado na Técnica de Intensidade do Uso. As variáveis explicativas, todas com dados entre 1952 e 2011, são INTER, que mede o tamanho relativo do setor intensivo em aço na economia, URBANA, a porcentagem urbana da população brasileira, PRI, o preço real do aço no Brasil, com preço de 1994 assumindo o valor 100, PRI\_Const, o preço real dos materiais para construção civil no Brasil (complemento do aço), com o preço de 1994 assumindo o valor 100, PERCENT\_IMPORT, a razão entre a quantidade de aço bruto importada e a produção nacional do metal, TEMPO, proxy do avanço tecnológico que assume valores de 1 em 1952 a 60 em 2011 e Dummy\_2009, que assume valor 1 para o ano 2009 e zero para todos os demais.

Variável Dependente

	SIU
Variáveis Explicativas	Coeficiente
С	(Desv. Pad) -1,009143 (0,637998)
LOG(INTER)	0,245364* 0,044278
LOG(URBANA)	1,24901* (0,171961)
LOG(PRI)	-0,013565 (0,041207)
LOG(PRI_CONST)	-0,552475* (0,113796)
LOG(PERCENT_IMPORT)	0,099025* (0,013812)
LOG(TEMPO_NORMAL)	-0,083992** (0,04043)
DUMMY_2009	-0,202368* (0,072851)
R <sup>2</sup>	0,863023
R² Ajustado	0,844584
Estatística F	47,3216
Probabilidade (Est. F) Est. Durbin-Watson	0 1,953625

\*, \*\* e \*\*\* indicam significância estatística aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

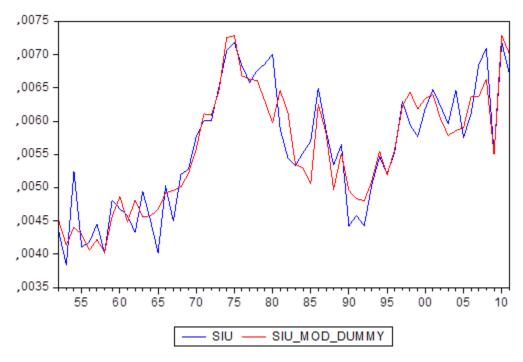
Em relação ao modelo sem a *dummy* de 2009, nota-se um aumento do R² Ajustado de 0,82 para 0,84. O coeficiente da variável de preço do aço, que já não era estatisticamente significativo, tornou-se ainda menos. Por outro lado, houve ligeiro aumento na significância do coeficiente da variável tempo, que agora é significativo a 5%. A estatística de Durbin-Watson de 1,95 continua a indicar ausência de correlação serial de primeira ordem. Os Testes de White e Breusch-Pagan para heterocedasticidade não rejeitaram a hipótese de homocedasticidade dos resíduos, de forma que não foi empregada uma matriz de covariância robusta nesta estimação.

A alta significância estatística da *dummy* de 2009 confirma que houve neste ano um considerável decréscimo na intensidade do uso não explicado pelas demais variáveis explicativas.

# Desempenho do Modelo Linear com Dummy

A figura abaixo compara a intensidade real do uso de aço no Brasil (SIU) com a intensidade prevista pelo modelo linear com *dummy* (SIU\_MOD\_DUMMY), no período de 1952 a 2011 (ou seja, dentro da amostra):

Figura 31 – Comparação dos valores previstos pelo modelo linear com dummy para SIU com a realidade, para o período dentro da amostra.



Como esperado, a inclusão de uma variável *dummy* para o ano de 2009 fez com que o modelo capturasse a grande diminuição da intensidade do uso de aço no Brasil naquele ano de crise. Como resultado, a média do módulo dos erros foi de 4,89%, contra 5,05% do modelo original (cabe notar que, como a inclusão da variável *dummy* afeta os coeficientes das demais variáveis, as previsões para intensidade do uso de todos os anos são diferentes, e não apenas de 2009). Já a raiz do erro quadrático médio foi de 0,000345, ou 6,18% da intensidade média do uso no período total estudado, comparada com 6,73% do modelo original. À exceção de 2009, entretanto, não houve melhora sensível nas previsões.

O desempenho no período fora da amostra (2006-2001) foi naturalmente impactado de forma ainda mais positiva que no caso do período completo, como se pode observar na figura abaixo:

0,0075 0,007 0,0065 0,006 0,0055 0,005 0.0045 0,004 0,0035 2006 2007 2008 2009 2010 2011 SIU SIU\_Modelo

Figura 32 – Comparação dos valores previstos pelo modelo linear com dummy para SIU com a realidade, para o período fora da amostra.

No período fora da amostra, as estimativas do modelo com *dummy* apresentaram média do módulo dos erros de 4,05%, bem inferior a de 6,74% do modelo original. Já a raiz do erro quadrático médio foi de 0,000321, ou 4,88% da intensidade do uso de aço média no período, comparada com 8,83% no modelo original, novamente denotando grande aumento na precisão. A principal diferença entre ambos foi que neste último o modelo previu de forma quase perfeita a intensidade do uso real de 2009, enquanto no modelo original este foi o ano com a maior discrepância (20,69%, contra menos de 0,01% neste).

# Estimação por Mínimos Quadrados em Dois Estágios

As variáveis explicativas tanto do modelo original quanto do não linear são todas potencialmente endógenas, isto é, correlacionadas com o erro. Variáveis que influenciam a intensidade do uso do aço, como o PIB de construção civil, podem ser potencialmente afetadas elas mesmas pela intensidade do uso. Se este for o caso, o estimador MQE estimará de forma consistente o valor condicional da intensidade do uso de aço dados certos valores para as variáveis explicativas, mas estimará de forma inconsistente os efeitos marginais de variação destas variáveis sobre a intensidade do uso. Dado o grande interesse nos efeitos marginais, é interessante estimar os modelos anteriores também pelo método de Mínimos Quadrados por Dois Estágios, utilizando variáveis instrumentais.

## Modelo Linear estimado por Mínimos Quadrados em Dois Estágios

Como já mencionado, potencialmente todas as variáveis explicativas (à exceção do tempo) podem ser endógenas. Desta forma, é necessário obter variáveis instrumentais para cada uma das variáveis explicativas. Como precondição do método de estimação, as variáveis instrumentais devem ser correlacionadas com as variáveis explicativas endógenas, mas não com o erro (isto é, a variável instrumental não pode sofrer do mesmo problema da variável original).

Optou-se por empregar as próprias variáveis explicativas, defasadas em um período (um ano), como instrumentos, além do tempo não defasado (por ser certamente exógeno). Os resultados desta estimação podem ser vistos na tabela abaixo:

#### Tabela 9: Técnica de Intensidade do Uso.

Esta tabela contém os resultados da estimação por Mínimos Quadrados em Dois Estágios e matriz de covariância padrão da intensidade do uso de aço no Brasil, SIU (em toneladas por real do PIB), entre 1952 e 2011, de acordo com modelo baseado na Técnica de Intensidade do Uso. As variáveis explicativas, todas com dados entre 1952 e 2011, são INTER, que mede o tamanho relativo do setor intensivo em aço na economia, URBANA, a porcentagem urbana da população brasileira, PRI, o preço real do aço no Brasil, com preço de 1994 assumindo o valor 100, PRI\_Const, o preço real dos materiais para construção civil no Brasil (complemento do aço), com o preço de 1994 assumindo o valor 100, PERCENT\_IMPORT, a razão entre a quantidade de aço bruto importada e a produção nacional do metal e TEMPO, proxy do avanço tecnológico que assume valores de 1 em 1952 a 60 em 2011. As variáveis instrumentais são as próprias variáveis explicativas defasadas em um período (um ano), além de uma constante e da variável TEMPO não defasada. A coluna da direita contém os valores dos coeficientes das variáveis explicativas e, abaixo entre parênteses, o valor do desvio padrão dos mesmos.

Variável Dependente
SIU

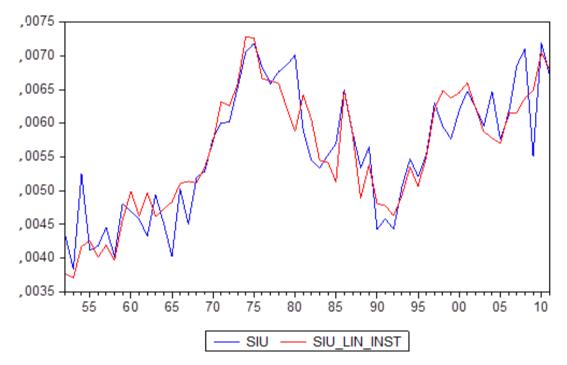
Variáveis Explicativas	Coeficiente
	(Desv. Pad)
С	-0,623008
	(1,122927)
LOG(INTER)	0,210067*
	(0,068123)
LOG(URBANA)	1,04026**
	(0,411964)
LOG(PRI)	-0,076975
	(0,110776)
LOG(PRI_CONST)	-0,698634*
	(0,226249)
LOG(PERCENT_IMPORT)	0,107363**
	(0,046402)
LOG(TEMPO_NORMAL)	0,038066
	(0,129416)
R <sup>2</sup>	0,807952
R² Ajustado	0,785793
Estatística F	30,9646
Probabilidade (Est. F)	0
Est. Durbin-Watson	1,816574

<sup>\*, \*\*</sup> e \*\*\* indicam significância estatística aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

Análise da tabela acima revela algumas alterações em relação ao modelo linear original estimado por MQO. Há aumento de todos os desvios-padrão dos coeficientes das variáveis explicativas, e consequente diminuição da significância estatística das mesmas. Em particular, as variáveis URBANA e PERCENT\_IMPORT passaram a ser significativas apenas a 5% (eram a 1%). Já a variável TEMPO, que era no modelo original significativa a 10%, deixou de sê-lo por inteiro. Dentre as variáveis significativas, houve diminuição nos coeficientes de INTER e URBANA, e aumento nos de PRI\_CONST e PERCENT\_IMPORT.

O R<sup>2</sup> Ajustado caiu de 0,82 para 0,79. A estatística de Durbin-Watson de 1,82 continua indicando ausência de correlação serial de primeira ordem. A figura abaixo ilustra o desempenho do modelo linear estimado por Mínimos Quadrados em Dois Estágios no período dentro da amostra:

Figura 33 – Comparação dos valores previstos pelo modelo linear com dummy para SIU com a realidade, para o período dentro da amostra.



A figura é muito semelhante ao do modelo estimado por MQO. A média dos módulos dos erros foi de 0,0003, ou 5,53% da intensidade do uso de aço média no período de 1952 a 2011, comparado a 5,05% na estimação por MQO. Já a raiz do erro quadrático médio foi de 0,000412, ou 7,37% da intensidade do uso média no período (contra 6,73% na estimação original).

O caso fora da amostra, em que o modelo é estimado com dados de 1952 a 2005 e comparam-se suas previsões para 2006 a 2011 com a intensidade do uso observada na realidade, pode ser observado na figura abaixo:

0,0075 0,007 0,0065 0,006 0,0055 0,005 0,0045 0,004 0,0035 2006 2007 2008 2010 2011 2009 SIU SIU Modelo

Figura 34 – Comparação dos valores previstos pelo modelo linear com dummy para SIU com a realidade, para o período fora da amostra.

Novamente, a semelhança é notável com a estimação por MQO, com o modelo subestimando e superestimando a intensidade do uso nos mesmos anos. No entanto, ao contrário do que ocorreu no caso do período dentro da amostra, neste o modelo estimado em dois estágios se mostrou mais preciso. A média dos módulos dos erros foi de 6,35% da intensidade do uso média do período, contra 6,74% do modelo estimado por MQO. Já a raiz do erro quadrático médio foi de 8,71% da intensidade média, contra 8,83% do modelo original.

## Modelo Não Linear estimado por Método dos Momentos Generalizados (GMM)

Assim como no caso do modelo linear, é possível que as variáveis explicativas do modelo não linear sejam influenciadas pela variável dependente, comprometendo a análise dos coeficientes como efeitos marginais. Pra estimar este modelo foi utilizado o Método dos Momentos Generalizados. Novamente, optou-se por empregar as próprias variáveis explicativas, defasadas em um período (um ano), como instrumentos, além do tempo não defasado (por ser certamente exógeno). Os resultados desta estimação podem ser vistos na tabela abaixo:

#### Tabela 9: Técnica de Intensidade do Uso.

Esta tabela contém os resultados da estimação por Método dos Momentos Generalizados e matriz de covariância de Newey-West da intensidade do uso de aço no Brasil, SIU (em toneladas por real do PIB), entre 1952 e 2011, de acordo com modelo baseado na Técnica de Intensidade do Uso. As variáveis explicativas, com dados para o mesmo período, são PIB IDUSTRIAL, que mede a participação do setor industrial na economia brasileira, INTRA, que mede a percentagem do PIB Industrial representado pelo setor de autoveículos (proxy da participação das manufaturas tradicionais no setor manufatureiro como um todo), PRI\_USA, que é o preço real do aço nos EUA, com o preço de 1994 assumindo o valor 100, o avanço tecnológico modelado através de uma Curva de Gompertz. As variáveis instrumentais são as próprias variáveis explicativas defasadas em um e dois períodos (anos), além de uma constante e da variável TEMPO não defasada. Na coluna da direita encontram-se os coeficientes das variáveis explicativas e abaixo dos mesmos, entre parênteses, seus desvios-padrões.

Variável Dependente

	SIU
Variáveis Explicativas	Coeficiente
	(Desv. Pad)
CONSTANTE	115,899
	(46414,36)
LOG(PIB INDUSTRIAL)	0,257802
	(0,395182)
LOG(INTRA)	0,156285***
	(0,092961)
LOG(PRI_USA)	-0,187696
, _ ,	(0,261661)
K(5)	-121,267
(5)	(46414,78)
K(6)	-0,000095
	(0,036225)
R <sup>2</sup>	0,357236
R <sup>2</sup> Ajustado	0,295431
Est. Durbin-Watson	0,645644

<sup>\*, \*\*</sup> e \*\*\* indicam significância estatística aos níveis de 1%, 5% e 10%, respectivamente.

O modelo não linear estimado por GMM não se mostra melhor especificado que o estimado por MQO. De fato, mais uma vez apenas o coeficiente da variável INTRA foi significativo a 10%, e o R<sup>2</sup> Ajustado foi ainda menor, recuando de pouco mais de 48%

para pouco menos de 30%, o que significa que as variáveis explicativas não conseguem explicar a grande maioria da variação da intensidade do uso de aço no Brasil. A estatística de Durbin-Watson de 0,65 aponta problema de correlação serial de primeira ordem.

O desempenho do modelo mostrou-se fraco, e dada a má especificação do mesmo não cabe aqui discussão mais detalhada.

### Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo indicam que o consumo *per capita* de aço no Brasil ainda se expande com o crescimento econômico, não havendo qualquer indício que um pico já tenha sido atingido. De fato, o modelo especificado deixa claro que o consumo *per capita* de aço não depende unicamente da renda *per capita* e do nível de desenvolvimento tecnológico, como postulam os tradicionais modelos de intensidade do uso e ciclo de vida, mas sim da configuração da economia.

A intensidade do uso é determinada por fatores como o peso relativo dos setores intensivos em aço na economia, a taxa de urbanização da população, o preço do aço e de seus principais complementos, o volume relativo do aço importado e o avanço tecnológico. Apenas dois destes fatores, a taxa de urbanização e o avanço tecnológico, progridem sempre na mesma direção (ainda que com ritmos variados). Os demais alternam períodos de avanço com períodos de retração e, ao menos no caso brasileiro, não há sinal de qualquer tendência de longo prazo.

Desta forma, os múltiplos "picos" de consumo *per capita* de aço verificados no Brasil, apesar de atípicos numa comparação internacional, não chegam a ser surpreendentes. Ocorreram diversas mudanças estruturais na economia do país nos últimos 60 anos, e nem sempre na mesma direção. O crescimento econômico também foi muito irregular, contribuindo para a formação dos vários picos de intensidade. Nas últimas duas décadas, o aumento da intensidade do uso de aço no Brasil intensificou o efeito do crescimento econômico sobre o consumo de aço, que chegou em 2010 ao maior patamar já registrado (tanto em termos absolutos quanto *per capita*).

Por outro lado, a intensidade do uso de aço da economia nacional ainda não é superior à verificada entre 1975 e 1980, e a despeito dos recentes avanços não há qualquer garantia que este patamar virá a ser ultrapassado. Mesmo num cenário otimista quanto ao uso de aço, foi estimado um aumento de intensidade de menos de 18% para próxima década, e

é inteiramente plausível que a intensidade venha até mesmo a cair, como discutido no Seção 6. É improvável, portanto, que a economia brasileira venha a se tornar tão intensiva em aço quanto a dos países com as quais foi comparada no decorrer deste estudo, ao menos num horizonte de tempo relativamente curto.

As diversas análises de robustez realizadas não alteraram de forma significativa as conclusões acima expostas. O modelo original demonstrou desempenho superior ao não linear proposto como alternativa mais próxima ao modelo de Valdes (1988). Constatouse que em 2009 a intensidade do uso do aço no Brasil sofreu um considerável decréscimo não explicado pelas demais variáveis do modelo, o que é coerente com a forte crise financeira (e de expectativas) que afligia boa parte do mundo naquele ano. Finalmente, o modelo original foi estimado pelo método de mínimos quadrados em dois estágios e dos momentos generalizados para corrigir eventual problema de endogeneidade das variáveis explicativas, e os resultados foram qualitativa e quantitativamente semelhantes aos do modelo original.

# Referências Bibliográficas

ANDRADE, Maria L. A. e CUNHA, L. M., 2002. O Setor Siderúrgico. BNDES 50 Anos – Histórias Setoriais: O Setor Siderúrgico. Disponível em <a href="http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\_pt/Galerias/Arquivos/c">http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\_pt/Galerias/Arquivos/c</a> onhecimento/livro\_setorial/setorial03.pdf

ANFAVEA, 2012. Anuário Estatístico da Indústria Automobilística Brasileira, 1957-2011. Disponível em http://www.anfavea.com.br/anuario.html

CIA WORLD FACTBOOK, 2012. Disponível em <a href="https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ch.html">https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/ch.html</a>.

CROMPTON, P., 2000. Future Trends in Japanese Steel Consumption. Perth: University of Western Australia, Department of Economics.

FMI, 2012. List of Countries by GDP (nominal) *per capita*. Disponível em http://en.wikipedia.org/wiki/List\_of\_countries\_by\_GDP\_(nominal)\_per\_capita

IABR, 2012. Dados de Mercado, 2011. Disponível em <a href="http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/numeros--mercado.asp">http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/numeros--mercado.asp</a>.

IABR, 2012. Estatísticas, Setembro/2012. Disponível em http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatisticas.asp

IABR, 2012. História da Siderurgia no Brasil. Disponível em http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/aco/siderurgia-no-brasil-desenvolvimento.asp

IBGE, 2008. Projeção da População do Brasil. Disponível em <a href="http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\_impressao.php?id\_noticia=12">http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\_impressao.php?id\_noticia=12</a> 72.

LAPLACE CONSEIL, 2007. View on the Future of the Global Steel Industry

LOHANI, P. R. e TILTON, J. E., 1993. A cross-section analysis of metal intensity of use in the less developed countries. Resources Policy, June, pp. 145–54.

MCKAY, H., SHENG, Y. e SONG, L., 2011. China's metal intensity in comparative perspective. China: The Next Twenty Years in Reform and Development, Seção 5.

MCLENNAN, MAGASANIK e PEARCE PTY LTD., 1988. Analysis of Future Energy Use in NSW Iron and Steel Industry. Report for the new South Wales Department of Energy, Sydney.

MEADOWS, D.H., MEADOWS, D.L., RANDERS, j. e BEHRENS, W.W. III, 1972. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Earth Island Limited, London.

MUNLENBAUM, W. 1973, Material Requirements in the United States and Abroad in the Year 2000. University of Pennsylvania Press, Philadelphia.

NEWCOMB, R. T., 1976. Mineral Industry Demands and General Market Equilibrium, AIME, New York.

PARDEE CENTER FOR INTERNATIONAL FUTURES, IFFs Forecast, 04/10/2012. Disponível em http://www.google.com/publicdata/explore?ds=n4ff2muj8bh2a\_

RADEZTKI, M. e TILTON, J. E., 1990. Conceptual and Methodological Issues, in Tilton, J. (ed.), World Metal Demand. Resources for the Future, Washington, D.C.

SCHERRER, Cristina M., 2006. A Indústria Siderúrgica Brasileira: Um Estudo Econométrico. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Ciências Econômicas, Programa de Pós-Graduação em Economia.

TILTON, J. E. (1988), The New View of Minerals and Economic Growth. Economic Record, 65: 265–278.

UNITED STATES STEEL, 2012. United States Steel Corporation Annual Reports, 1902-. Disponível em http://library.case.edu/digitalcase/CollectionDetail.aspx?PID=ksl:ussteel#0

VALDES, Raymundo M., 1988. Modelling Australian Steel Consumption: The Intensity of Use Technique. Industrial Energy Demand Forecasts, Draft Report, New

South Wales Department of Minerals and Energy.

WARREL, L. e Olsson, A., 2009. Trends and Developments in the Intensity of Steel Use: An Econometric Analysis.

WORLD STEEL ASSOCIATION, 2012. World Steel in Figures 2012. Disponível em <a href="http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/WSIF\_2012/document/">http://www.worldsteel.org/dms/internetDocumentList/bookshop/WSIF\_2012/document/</a> World% 20Steel% 20in% 20Figures% 202012.pdf.