

O CONCEITO DE ÁGUA VIRTUAL APLICADO A FABRICAÇÃO DE LAMINADOS DE AÇO

José Alencastro de Araújo¹

RESUMO - O processo de produção de aço demanda grandes volumes de água, principalmente nos sistemas de refrigeração. Várias medidas foram adotadas pelas empresas siderúrgicas para otimizar a recirculação ou reuso das águas de processo, reduzindo-se ao mínimo o descarte e diminuindo a demanda por captação de águas superficiais ou subterrâneas. Conforme o Instituto Aço Brasil, circularam nas unidades de processo siderúrgico 6,5 bilhões de m³ de água, considerando água de recirculação interna (86%) e água captada (14%) – doce, salgada ou salobra (IABr, 2010).

O termo "água virtual" foi introduzido em 1993 por Anthony Allan, do Kings College de Londres. Segundo este conceito, a água virtual está embutida nos produtos, não apenas no sentido visível, físico, mas também no sentido virtual, considerando a água necessária aos processos produtivos. As discussões técnicas caminham para esse parâmetro seja considerado como um instrumento estratégico em políticas públicas e privadas do uso da água (Hoekstra & Chapagain, 2008).

O objetivo deste trabalho é avaliar a quantidade de água, considerando o conceito de água virtual, necessária para a fabricação de uma tonelada de barra laminada, bitola de 10 mm, em uma siderúrgica semi-integrada, dada a imposição de medidas de controle sobre os potenciais impactos associados à manufatura, distribuição e utilização de produtos.

ABSTRACT - The process of steel production demands large volumes of water, especially in cooling systems. Several measures were adopted by steel companies to optimize the recycling or reuse of process water, reducing the minimum disposal and reducing the demand for removal of surface or groundwater. According to the Instituto de Aço Brasil, circulated in the units of the steelmaking process 6.5 billion m³ of water, whereas water internal recirculation (86%) and water abstracted (14%) - sweet, salty or brackish (IABr, 2010).

The term "virtual water" was introduced in 1993 by Anthony Allan, Kings College of London. According to this concept, virtual water is embedded in products, not only in the sense visible, physical, but also in the virtual sense, considering the necessary water to production processes. Technical discussions go for this parameter is considered as a strategic tool in public policy and private water use (Hoekstra & Chapagain, 2008).

The aim of this study is to assess the amount of water, considering the concept of virtual water required to manufacture a ton of cold rolled bar, gauge 10 mm, a steel semi-integrated, given the imposition of control measures on potential impacts associated with manufacturing, distribution and use of products.

Palavras chaves: produção de aço, águas de processo, água virtual.

¹ Aluno do programa de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, EESC/USP, São Carlos. E-mail alencastro.araujo@usp.br

1 - INTRODUÇÃO

A fronteira entre o ferro e o aço foi definida a partir da Revolução Industrial, com a invenção de fornos que permitiam não só corrigir as impurezas do ferro, como também lhes adicionar propriedades como resistência ao desgaste, ao impacto e à corrosão. Por causa dessas propriedades e do seu baixo custo, o aço passou a representar cerca de 90% de todos os metais consumidos pela civilização industrial (ARAÚJO, 1997).

Basicamente, o aço é uma liga de ferro e carbono, com teor de carbono de 0,008% a 2,0%. Existem evidências de produção de ferro anterior a 1600 a.C., entretanto, foi somente na metade do século XIX que Henry Bessemer desenvolveu o primeiro processo econômico para produção de aço em grande escala. Atualmente, a tecnologia dominante para a fabricação de aço é a que utiliza oxigênio básico (BOF), um aperfeiçoamento de uma descoberta de Bessemer e desenvolvida na América nos anos 1950. O forno elétrico a arco foi inventado em 1881 (Araújo, 1997).

O ferro é encontrado em toda crosta terrestre, na forma de minério, é um óxido de ferro, fortemente associado ao oxigênio e a sílica. O carbono é também relativamente abundante na natureza e pode ser encontrado sob diversas formas.

Em usinas integradas, dentro de um equipamento chamado alto forno, o carvão exerce duplo papel na fabricação do aço. Como combustível, permite alcançar altas temperaturas (cerca de 1.500° Celsius) necessárias à fusão do minério de ferro. Como redutor, associa-se ao oxigênio que se desprende do minério com a alta temperatura, deixando livre o ferro. O processo de remoção do oxigênio do ferro para se ligar ao carbono chama-se redução (Araújo, 1997).

As usinas de aço do mundo inteiro, segundo o seu processo produtivo, classificam-se em:

Integradas – são usinas que iniciam o processo siderúrgico com minério de ferro, fundentes e coque no alto forno para a produção do ferro gusa e terminam o processo com o produto acabado pronto para o uso.

Semi-integradas – são usinas que iniciam o processo siderúrgico a partir da aciaria, utilizando sucata de aço e ferro-gusa como matérias-primas e concluindo o processo também com produtos prontos para o uso.

A primeira etapa para a produção do aço é iniciada no alto forno, onde o minério de ferro se funde formando um metal líquido chamado de ferro-gusa. A parte líquida não metálica, que também é formada neste processo de redução, é chamada de escória, impurezas que contém óxidos CaO, SiO₂, P₂O₅, MgO, etc.

A etapa seguinte do processo é o refino. O ferro-gusa é levado para a aciaria, ainda em estado líquido, para ser transformado em aço, através da queima de carbono e posterior adições de ligas. O refino do aço se faz em convertedores Linz Donavitz (LD) ou fornos elétricos.

O processo tem seguimento com a etapa do lingotamento, na qual o aço líquido é conformado em tarugos, placas ou lingotes. Finalmente, a quarta etapa clássica do processo de fabricação do aço é a laminação, na qual o aço é deformado mecanicamente para a fabricação de produtos siderúrgicos utilizados pela indústria de transformação, como chapas grossas e finas, bobinas, vergalhões, arames, perfilados, barras, etc.

Com a evolução da tecnologia, as etapas de redução, refino e laminação estão sendo reduzidas no tempo, assegurando maior velocidade na produção (Araújo, 1997). Anualmente, em torno de oitocentos milhões de toneladas de aço são produzidos e consumidos, em todo o mundo, 60% desse total é produzido através do processo a oxigênio básico e 40% através do processo de forno elétrico a arco. O consumo anual de aço nos países desenvolvidos gira em torno de 400kg per capita e a média mundial de consumo, gira em torno de 138kg per capita.

O processo de produção de aço demanda grandes volumes de água, principalmente nos sistemas de refrigeração, para resfriamento de máquinas, equipamentos e produtos. Várias medidas já foram adotadas pelas empresas siderúrgicas para otimizar a recirculação ou reuso das águas de processo, reduzindo-se ao mínimo o seu descarte e diminuindo a demanda por captação de águas superficiais ou subterrâneas. Conforme o Instituto Aço Brasil, circularam nas unidades de processo siderúrgico 6,5 bilhões de m³ de água, considerando água de recirculação interna (86%) e água captada (14%) – doce, salgada ou salobra. . Em 2009, pelo terceiro ano consecutivo, o índice de recirculação de água doce superou os 94%. O uso específico de água doce, considerando-se a água nova captada, foi de 12,2 m³ por tonelada de aço bruto produzido, conforme figura 1 a seguir. (IABr, 2010).



Figura 1 – Uso de água no setor siderúrgico

O Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE, 2010), recomenda para o setor siderúrgico maiores investimentos em desenvolvimento de tecnologias para reciclagem de água levando-se em conta que não se deve esperar qualquer nível de flexibilização ou normas mais brandas no âmbito legal e institucional no campo da gestão ambiental, ao contrário, as normas serão cada vez mais restritivas como consequência de relatórios científicos que apontam para o esgotamento do planeta,

exigência de qualidade de vida por parte das comunidades locais e valoração crescente dos recursos naturais e culturais.

A água é um direito humano por ser essencial à vida e a todas as atividades humanas, é um recurso natural frágil e vulnerável, que pode ser ou se tornar escasso por motivos ambientais, climáticos, políticos ou sociais. Por escassez de água, pode ser entendido todos os tipos de insuficiências, seja em quantidade ou qualidade, para complicar, a multiplicidade de usos que fazemos da água – abastecimento, energia, irrigação, processos industriais, transporte – frequentemente se traduz em alterações na quantidade e na qualidade, empurrando para longe o idealizado acesso livre e igual para todos (John & Marcondes, 2010).

Hoje, conforme a World Health Organization, estima-se que mais de 90% da água limpa disponível no Planeta esteja sendo utilizada para atender algum tipo de consumo humano, seja para uso doméstico (8%), seja para abastecer a produção de alimentos (70%) ou o uso industrial (22%). Na vida cotidiana necessita-se de 150 a 200 litros de água por pessoa. O Europeu consome 300 litros e o Americano 550. Como resultado das melhorias dos padrões de vida no planeta, o consumo de água vem aumentando rapidamente. Hoje é 50% maior que nos anos 50. O crescimento da demanda vem sendo atendido com a constituição de barragens e desvios de rios, mas essas alternativas estão próximas da exaustão. A razão principal é a ocupação quase total das áreas disponíveis e a reavaliação dos impactos ambientais, que no passado não eram considerados.

A dramaticidade do tema favoreceu o surgimento de um novo conceito: o da "água virtual". Ele expressa uma contabilidade básica, que é determinar a quantidade de água exigida no processo de fabricação de um produto. Isso avalia um custo ambiental, calculando a quantidade de água consumida na elaboração dos bens, é possível comparar a eficiência dos processos produtivos. O Brasil é o 10º. maior exportador mundial de “água virtual”, num comércio que movimenta cerca de 1,2 trilhão de litros de água embutido nas mercadorias (Graziano, 2011).

O termo "água virtual" foi introduzido em 1993 pelo professor Anthony Allan, do Kings College de Londres. Ele expôs essa idéia durante quase uma década para obter reconhecimento da importância do tema. A água virtual seria uma medida indireta dos recursos hídricos consumidos por um bem, produto ou serviço. Segundo este conceito, a água virtual está embutida nos produtos, não apenas no sentido visível, físico, mas também no sentido virtual, considerando a água necessária aos processos produtivos. As discussões técnicas caminham no sentido de que esse parâmetro seja considerado como um instrumento estratégico em políticas públicas e privadas do uso da água (Hoekstra e Chapagain, 2008).

O termo água virtual pode ser confundido com “pegada de água” de um produto. No entanto, enquanto água virtual refere-se ao volume de água contida no produto, a “pegada de água” refere-se não apenas ao volume, mas também qual tipo de água foi usada (águas superficiais, subterrâneas,

pluviais ou efluentes líquidos), quando e onde a água foi usada. A pegada de água de um produto é, portanto, um conceito multidimensional. Além disso, o termo "pegada de água" também pode ser usado em um contexto onde inclui o consumidor e o produto. A água virtual é mais utilizada no contexto do direito internacional ou inter-regional de fluxo de água, cálculo de exportações e importações de um produto contendo água em forma virtual. (Hoekstra e Chapagain, 2008).

2 - FABRICAÇÃO DE UMA TONELADA DE BARRA LAMINADA

O processo de fabricação de uma siderúrgica semi-integrada típica é caracterizado pela utilização de sucata ferrosa, principal matéria-prima para fabricação de seus produtos, as barras laminadas para uso na construção civil. O processo industrial ocorre basicamente nas operações desenvolvidas na aciaria e laminação, o processo é iniciado com o recebimento da sucata ferrosa. A sucata ferrosa pode ser dividida em três tipos, a sucata interna, gerada dentro da própria usina; a sucata industrial, gerada em metalúrgicas, fundições e plantas industriais como a automobilística e a sucata de obsolescência, que é resultante do pós consumo de produtos de aço, como os veículos automotivos, máquinas, eletrodomésticos, dentre outros.

A segunda etapa do processo é efetuada na máquina fragmentadora Shredder, a função principal da máquina Shredder é triturar a sucata para aumentar sua densidade aparente e eliminar as impurezas agregadas, transformando sucatas ferrosas, antes impossíveis de uso direto no forno elétrico, em outras de excelente qualidade. A sucata a ser processada é recebida e armazenada no pátio de metálicos e transportada até o fragmentador por intermédio de esteiras rolantes. A etapa seguinte, após processamento, é a eliminação de parte das impurezas, cerca de 18% a 20% em peso, constituída de terra, metais não-ferrosos, plásticos, borracha, isopor e madeira, que se constitui no resíduo denominado terra da Shredder, e é realizado por um separador magnético.

A terceira etapa do processo é a operação do forno elétrico a arco, que responde pela transformação das matérias-primas sólidas em aço líquido. O processo é iniciado com o carregamento do forno com um cestão, cuja carga é composta de sucata ferrosa e ferro gusa em uma proporção que varia em função das características de oferta destes produtos no mercado. O princípio de operação do forno elétrico a arco, consiste em energizar os três eletrodos, que descem para o interior do forno automaticamente, ao entrar em contato com a sucata, ocorre o curto-circuito entre os três eletrodos e a sucata. A grande geração de calor funde a sucata que está próxima aos eletrodos e o aço líquido é acumulado na sola do forno. Após alguns minutos, os três eletrodos descem até próximo ao nível da sola e mantêm o arco elétrico sobre o aço líquido, gerando o calor necessário, entre 1500°C e 1600 °C , para a fusão da sucata do forno. Queimadores a gás natural e injetores de oxigênio aceleram o processo de fusão com energia química. Basicamente, a operação

no forno elétrico se compõe de três etapas: a fusão da sucata ferrosa, a oxidação (injeção de oxigênio) e finalmente o refino; nestas etapas ocorrem a formação da escória e a captação dos gases formados no interior do forno, e que são captados pelos sistemas de despoeiramento e vão gerar os pós de aciaria. Entre o carregamento do forno, a realização destas três etapas e o vazamento do aço líquido na panela são transcorridos aproximadamente sessenta minutos. A operação seguinte é realizada no forno panela.

A quarta etapa é a operação do forno panela que é responsável pela conclusão do processo de refino do aço, o ajuste fino para o acerto da composição química. Também é regulada a temperatura em torno de 1580 °C para a etapa seguinte, que é a de fabricação dos lingotes ou tarugos que se processa na máquina de lingotamento contínuo.

A quinta e última etapa do processo na Aciaria é a conformação do aço na máquina de lingotamento contínuo que é responsável pela transformação do aço líquido em tarugos.

Na passagem dos tarugos nas mesas de rolos que os conduzem para a etapa de laminação são gerados resíduos denominados carepas de lingotamento. O fluxo do processo pode ser visto na figura 2, a seguir.

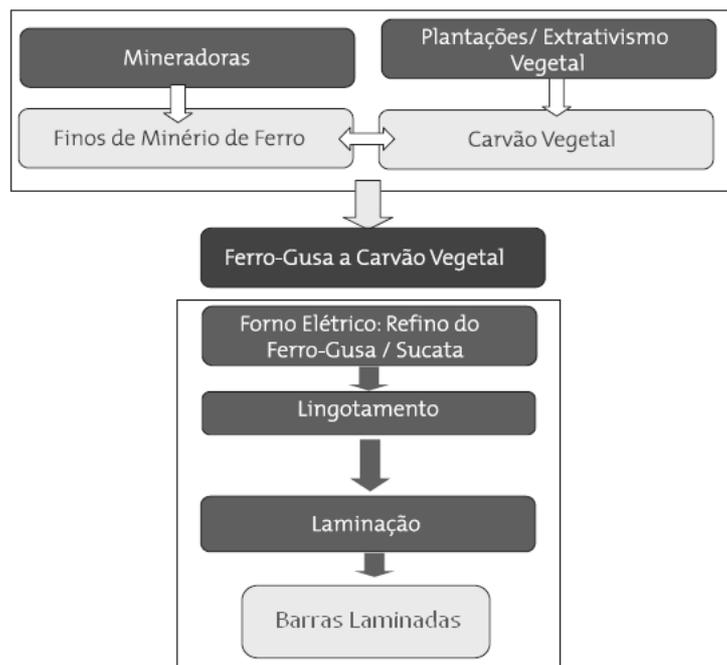


Figura 2: Fluxo de produção de barras laminadas

O processo de laminação consiste basicamente na transformação dos tarugos provenientes da máquina de lingotamento contínuo em laminados planos e barras conhecidas como vergalhão para uso na construção civil.

O fluxo do processo é iniciado pelo enformamento dos tarugos no forno de reaquecimento, quando é realizado o reaquecimento dos tarugos a uma temperatura de 1050 °C, em seguida ocorre

a passagem pelo trem desbastador, quando os tarugos são pressionados, sucessivamente, entre cilindros, sofrendo redução em sua seção, com conseqüente aumento de comprimento. Na etapa seguinte, ocorre a passagem pelo trem intermediário, quando o tarugo começa a adquirir o formato de barra laminada. Em seguida ocorre a passagem pelo trem acabador, que vai dar forma final à barra laminada. Ao passar pela pressão de vários cilindros, a barra recebe a marcação das nervuras e as gravações da bitola nominal, dando origem ao CA50, aço para concreto armado. Finalmente, ocorre a chegada no leito de resfriamento, quando as barras perdem o calor naturalmente, em contato com o ar do ambiente.

Em relação ao consumo de água, na fabricação do aço são consumidos 1,2 m³/ t de aço, as perdas de água no processo produtivo se dão, quase que exclusivamente, através da evaporação e respingos nas torres de resfriamento e se não acompanhadas e repostas, poderiam aumentar o ciclo de concentração da água, tornando-a imprópria para o uso em equipamentos essenciais ao processo produtivo.

As matérias primas e insumos necessários para a fabricação de uma tonelada de barras laminadas são as relacionadas na tabela no 1, a seguir. A tabela informa ainda a quantidade de água para a produção de cada uma das matérias primas e insumos.

Tabela 1 – Relação de matérias primas/insumos

| Matéria Prima/ Insumos | Quantidade (kg/tab) | Quantidade de Água (m ³ /h) |
|--------------------------------------|---------------------|--|
| Sucata ferrosa | 761 | 721,9 (IABr) |
| Ferro-gusa | 331 | 320 (European Commission) |
| Gusa sólido: | | |
| Sinter | 397 | 19 (European Commission) |
| Coque | 248 | 100 (European Commission) |
| Ligas: | | |
| Ferro silício manganês | 0,448 | 19,9 (Ferro Ligas Maringá) |
| Ferro silício 75% | 0,298 | 0 (Bozel) |
| Resíduo cálcio silício | 0,142 | 0 (Bozel) |
| Ferro silício manganês (Finos) | 0,107 | 19,9 (Ferro Ligas Maringá) |
| Carbureto de silício | 2,250 | 0 |
| Ferro manganês alto carbono | 8,088 | 19,9 (Ferro Ligas Maringá) |
| Alumínio estrela | | 0 |
| Cálcio Silício (granulado) | 0,022 | 0 (Bozel) |
| Carbureto silício 0,5-10mm | 2,331 | 0 |
| Adições: | | |
| Coque petróleo escória espumante | 6,674 | 0 |
| Coque petróleo escória espumante | 0,816 | 0 |
| Coque de Petróleo calcinado correção | 1,489 | 0 |
| Coque petróleo grosso | 5,876 | 0 |
| Fluorita flotada | 0,556 | 0,05 (EMITANG) |
| Cal virgem calcítica | 11,199 | 0 |
| Cal virgem granulada | 5,964 | 0 |
| Cal virgem dolomítica | 15,358 | 0 |

2.1 - Matérias primas e insumos

A sucata ferrosa é o principal elemento metálico da carga de fornos elétricos a arco, em 2010 estima-se que somente a sucata de obsolescência representou 60% da oferta mundial de sucata e que somado à sucata de origem industrial resulta em 84% da oferta mundial de sucata (MME, 2009). A sucata de obsolescência é a mais importante fonte deste resíduo metálico, representando no Brasil 45% de toda a sucata ofertada, conforme a figura 3, a seguir:

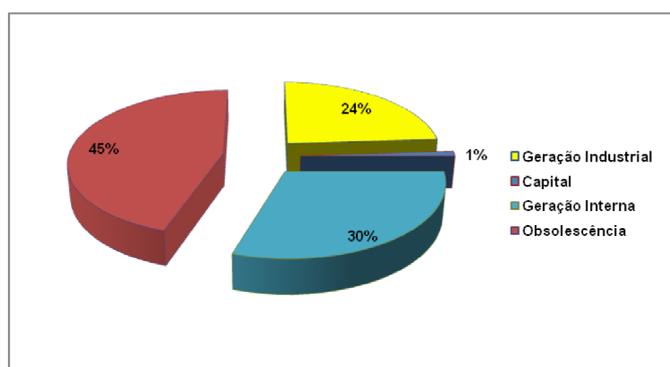


Figura 3 – Distribuição da oferta pelas fontes de sucata no Brasil

A tabela 2, a seguir informa que o setor automobilístico é o maior gerador de sucata de obsolescência e portanto, apenas como objeto de cálculo, vamos considerar neste artigo que a sucata utilizada seja integralmente de obsolescência resultante do pós consumo de veículos automotivos. Conforme, Gil et al (2008), uma das empresas do setor automobilístico, capta em nove poços um total de 721,9 m³/h.

Tabela 2 – Geração de sucata de obsolescência no Brasil

| ÉPOCA DE ORIGEM DO BEM | PERÍODOS DE SUCATEAMENTO | | | PROJEÇÃO |
|--|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | QUINQ. 93/97 | QUINQ. 98/2002 | QUINQ. 2003/07 | QUINQ. 2008/12 |
| Do Aço Posto em Uso até 1972 | 2.840 | 2.222 | 1.423 | - |
| Do Aço Posto em Uso até 1973 a 2007 | 14.134 | 17.179 | 20.455 | 20.369 |
| Automobilístico | 4.708 | 5.607 | 6.998 | 7.718 |
| Bens de capital | 4.180 | 5.090 | 5.977 | 5.502 |
| Construção Civil | 1.910 | 2.611 | 3.083 | 3.495 |
| Utilidades Domésticas | 1.396 | 1.642 | 1.901 | 1.928 |
| Embalagens | 1.561 | 1.587 | 1.546 | 540 |
| Outros Setores | 378 | 642 | 950 | 1.186 |
| Do aço a ser posto em Uso (2008/2012) | | | | 6.794 |
| TOTAL DA GERAÇÃO TEÓRICA | 16.974 | 19.401 | 21.878 | 27.163 |

Fonte: MME, 2009

Para a fabricação de uma tonelada de aço são necessários 1104 t de metálicos conforme a tabela 3, a seguir:

Tabela 3 – Consumo de metálicos em kg por tonelada de aço

| DISCRIMINAÇÃO | PRODUÇÃO DE AÇO NA SIDERURGIA | | | BRASIL | MUNDO |
|---------------|--|----------|-------|--------|-------|
| | Conversores | Elétrico | Médio | | |
| Consumo Total | 1.130 | 1.104 | 1.125 | kg/t | 1.120 |
| Gusa | 1.017 | 331 | 873 | 77,6% | 56,7% |
| Esponja | | 12 | 9 | 0,8% | 4,0% |
| Sucata | 113 | 761 | 243 | 21,6% | 39,3% |
| BRASIL | -Maior produção de aço a conversor | | | 76,1% | 68,3% |
| | - Menor participação dos fornos elétricos | | | 23,9% | 31,7% |
| | - Maior carga de gusa=rendimento aço/carga pouco menor | | | 88,9% | 89,3% |

Fonte: MME, 2009

O gusa, conforme a tabela 3 é o elemento metálico que mais contribui, depois da sucata ferrosa, no mix para a fabricação de aço. O ferro-gusa, para a utilização nos fornos elétricos, pode ser de unidades integradas, nas quais a produtora de aço tem seu próprio fornecimento de ferro-gusa ou de unidades não integradas. As matérias-primas necessárias para a obtenção do ferro-gusa são o minério de ferro, principalmente a hematita e o carvão mineral. Ambos não são encontrados puros na natureza, sendo necessário um preparo nas matérias primas de modo a reduzir o consumo de energia e aumentar a eficiência do processo. Este preparo é realizado na coqueria e na sinterização. O produto resultante da coqueria é o coque metalúrgico, um material poroso com elevada resistência mecânica, alto ponto de fusão e grande quantidade de carbono. Na sinterização, a preparação do minério de ferro é feita com cuidado especial da granulometria, visto que os grãos mais finos são indesejáveis pois diminuem a permeabilidade do ar na combustão, comprometendo a queima. O produto final deste processo é denominado de sínter. O processo de fabricação do ferro-gusa consiste na redução do minério de ferro, utilizando o coque metalúrgico e outros fundentes, que são misturados com o sínter, conforme a figura 4. A reação ocorre no equipamento denominado Alto Forno e constitui uma reação exotérmica.

O consumo de água médio nas operações de sinterização, coqueria e alto forno, conforme European Commission (2010), são respectivamente, 19 m³/h, 100 m³/h e 320 m³/h.

As empresas integradas brasileiras que utilizam o carvão mineral são: Usiminas/Cosipa (MG), Gerdau/Açominas (MG), Tubarão (ES), CSN (RJ), que, juntas, produzem 23,2 milhões de toneladas, equivalentes a 65% da produção (Vital & Pinto, 2010).

A relação técnica entre as quantidades de carvão e de minério de ferro necessárias para a produção de 1 tonelada de ferro-gusa é de 750 kg de carvão para 1,2 tonelada de minério, ou seja, a combinação de 1,2 tonelada de minério de ferro com 750 kg de carvão gera, em média, 1 tonelada de ferro-gusa.

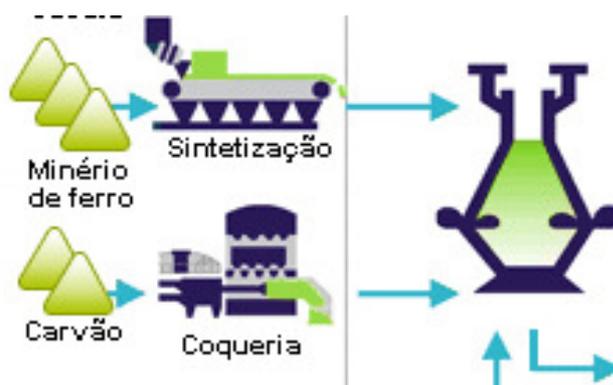


Figura 4 – Fluxo de produção do ferro-gusa

3 - CÁLCULO DA ÁGUA VIRTUAL

A água virtual de um produto pode ser calculada de duas maneiras: com a abordagem da soma de cadeia ou a abordagem gradual acumulativa. A abordagem de soma de cadeia é aplicável apenas no caso de um sistema de produção que produz um único produto. Na abordagem gradual acumulativa, o sistema de produção terá diversos produtos de saída, neste caso, é preciso distribuir a pegada de água do produto de entrada para seus produtos separados. Isso pode ser feito proporcionalmente ao valor dos produtos de saída ou ao peso dos produtos.

Neste trabalho, será utilizada a abordagem da soma de cadeia, pois os processos individuais de geração das matérias primas e insumos (Ver tabela 1), serão considerados como etapas para o sistema de produção de uma tonelada de barras laminadas de aço em uma siderúrgica semi-integrada. Portanto, neste caso específico, as águas virtuais que podem estar associadas com as diversas etapas dos processos deste sistema de produção, podem ser totalmente atribuídas ao produto que resulta do sistema (Hoekstra et al, 2011), conforme pode ser visto na figura 5, a seguir:

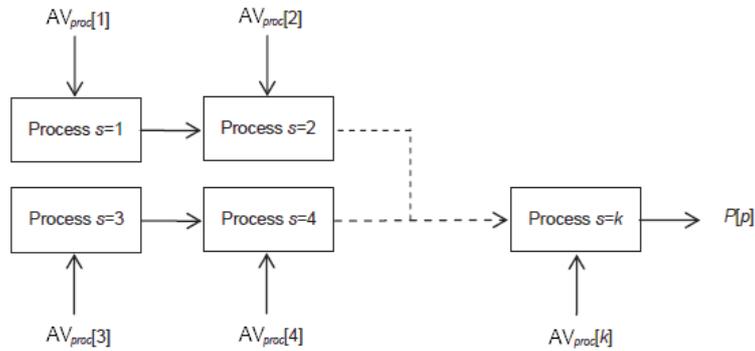


Figura 5 – Água virtual dos processos de geração das matérias primas e insumos do sistema de produção de barras laminadas.

O primeiro passo é sempre a obtenção da água virtual dos produtos de entrada e da água utilizada para processá-los para a saída do produto. Neste sistema de produção simples, a água virtual do produto p (volume / massa) é igual a soma da água virtual de processos relevantes, dividido pela quantidade de produção do produto p em [volume / massa] em que $AV_{proc} [s]$ é a água virtual de cada etapa do processo s (volume / tempo), e $P [p]$, a quantidade de produção do produto p (massa / tempo). A água virtual do produto p final é calculada como a soma da água virtual dos processos que constituem o sistema de produção.

$$AV_{prod} [p] = \frac{\sum_{s=1}^k AV_{proc} [s]}{P[p]} \quad [\text{volume/mass}] \quad (1)$$

3.1 – Memorial de cálculo

- Processo S1 = produção da sucata de obsolescência na indústria automobilística;
- Processo S2 = produção de síter na sinterização;
- Processo S3 = produção de coque na coqueria;
- Processo S4 = produção de ferro-gusa no alto-forno com utilização do síter e do coque;
- Processo S5 = produção de ligas;
- Processo S6 = produção de adições;
- Processo S7 = produção de barras laminadas no forno elétrico a arco.

O somatório de consumo de água relativo a cada um dos processos pode ser visto na figura 6, a seguir:

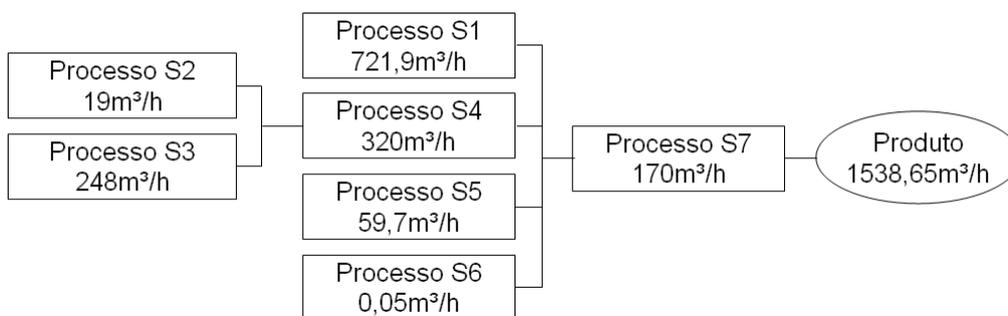


Figura 6 – Fluxograma de processos

Σ Água Virtual dos Processos S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 [m³/h] =

$$721,9 + 19 + 248 + 320 + 59,7 + 0,05 + 170 = 1538,65 \text{ m}^3/\text{h}$$

Produto P [kg/h] = 1000 kg de barras laminadas por hora

$$\text{Água Virtual (P)} = 1538,65 \text{ m}^3/\text{h} : 1000 \text{ kg/h} = 1,538 \text{ m}^3/\text{kg}$$

4 - CONCLUSÕES

As discussões técnicas caminham no sentido de que o conceito de água virtual seja considerado como um instrumento estratégico em políticas públicas e privadas do uso da água, o que deve levar o setor siderúrgico a aplicação sistemática de ferramentas, como a análise do ciclo de vida, que objetivam avaliar de maneira abrangente a grandeza dos impactos associados à manufatura, distribuição e utilização de seus produtos.

Considerando o conceito de água virtual, conforme estabelecido por Hoekstra et al (2011), seriam necessários 1538,65 m³/h de água para produzir uma tonelada de barras laminadas, ou seja 1,5 m³/kg, em uma usina semi-integrada a forno elétrico a arco. É a eficiência dos processos produtivos, considerando a cadeia produtiva na análise de ciclo de vida, que vai assegurar a sustentabilidade do setor siderúrgico em suas principais dimensões, ambiental, econômica e social.

A cobrança pelo uso da água, agindo como instrumento eficaz de incentivo ao uso racional de recursos hídricos, e o rigor crescente da legislação ambiental estão levando as empresas do setor siderúrgico ao aprimoramento dos modelos de gestão ambiental, alinhados com o novo paradigma de desenvolvimento, o que requer atuação social e ambientalmente adequada, além do que estabelece a legislação.

BIBLIOGRAFIA

ARAUJO, L. A. **Manual de siderurgia**. São Paulo: Editora Arte e Ciência, 1997.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS (CGEE). **Siderurgia no Brasil 2010-2015 – subsídios para tomada de decisão**. Brasília, 2010.

EUROPEAN COMMISSION. **Draft reference document on best available techniques for the iron and steel production**. Luxemburg, april, 2010.

GIL, J.S.B; QUINTAIROS, P.C.R; DIAS, N.W. **O planejamento estratégico, o consumo de água na indústria automobilística e a certificação ambiental**. XII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e VIII Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba, 2008.

GRAZIANO, F. **Água virtual**. Disponível em <http://www.estado.com.br/estadodehoje/20110322/not-imp695364,0.php>. Acesso em 30 de abril de 2011.

HOEKSTRA, A. Y. and CHAPAGAIN, A. K. (2008). **Globalization of Water: Sharing the Planet's Freshwater Resources**. Blackwell Publishing, Oxford.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M.; MEKONNEN, M.M. **The water footprint assesment manual – setting the global standard**. First published in 2011 by Eathscan. Disponível em: <http://www.waterfootprint.org/?page=files/home>. Acesso em 11 de maio de 2011.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Relatório de sustentabilidade 2009**. Disponível em: <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/numeros/estatistica.asp>. Acesso em 30 de abril de 2011.

JOHN, L., MARCONDES, P. **O valor da água – primeiros resultados da cobrança nas bacias pcj**. Camirim Editorial. São Paulo, 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Disponível em <http://worldheathorganization.org/>. Acesso em 20 de maio de 2011.

VITAL, M. H. F.; PINTO, M.A.C. **Condições para a sustentabilidade da produção de carvão vegetal para fabricação de ferro-gusa no Brasil**. BNDES Setorial 30, p.237 – 297. Disponível em http://www.bndes.gov.br/siteBNDES/export/sites/default/bndes_pt?galerias/arquivos/conhecimento/bnset/set3006.pdf.