



RECICLAGEM DE ALUMÍNIO E ESTIMATIVA DE POUPANÇA DE ENERGIA NO BRASIL

Anna Carolina Marimon Balbino Ferreira, Alexandre Magno de Melo Faria, Alexandro Rodrigues Ribeiro

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

carol.marimon@yahoo.com.br, dr.melofaria@gmail.com, ivalex_6@hotmail.com

Wladimir Colman de Azevedo Junior, Helde Domingos, José Ramos Pires Manso

Universidade da Beira Interior, Brasil

azevedocolman@gmail.com, helde@ubi.pt, pmanso@ubi.pt

RESUMO

Estimou-se e analisou-se em 2010 a poupança de energia com o processo de reciclagem de sucata de alumínio nos municípios de Cuiabá e Várzea Grande, em Mato Grosso, no centro-oeste brasileiro. Fundamentado na abordagem da economia ecológica, foram utilizados coeficientes técnicos do consumo de energia na produção primária (bauxita) e secundária (reciclagem) de alumínio. Adotou-se ferramentas de estimação a partir de coeficientes técnicos de consumo de energia na produção de bauxita e reciclagem de alumínio. Observou-se que a implantação de uma política mais clara de reciclagem de sucata de alumínio em Cuiabá e Várzea Grande poderia gerar uma poupança de energia de 143,456 Gw/h de energia em comparação com a atual política impositiva do horário de verão que poupou 109,834Gw/h de energia, em 2010. Por inferência, poder-se-ia fazer uma projeção que no Brasil, o montante de poupança pela reciclagem de alumínio alcançaria 20,665 Tw/h de energia frente ao horário de verão que reduziu em 7,443 Tw/h o consumo de energia em 2010.

Palavras-chave: Eficiência energética; Produção mais limpa; Economia ecológica.

ABSTRACT

It was estimated in 2010 energy savings with the process of aluminum scrap recycling in the cities of Cuiabá and Várzea Grande, Mato Grosso, in Brazilian midwestern. Based on the approach of ecological economics, technical coefficients were used in energy consumption in primary production (bauxite) of aluminum and secondary (recycled) of aluminum. Was adopted tools from technical coefficients of energy consumption in the production of aluminum from bauxite and scrap. It was observed that the implementation of a clear policy of aluminum scrap recycling in Cuiabá and Várzea Grande could generate energy savings of 143.456 Gw/h if compared with saved energy to the current policy imposed by DST (Daylight Saving Time) in 2010, which reached 109,834 Gw/h of energy. By inference, could make a projection that in Brazil, the amount of savings by recycling aluminum would reach 20.665 Tw/h of power compared with DST which reduced by 7,443 Tw/h energy consumption in 2010.

Keywords: Energy efficiency; Cleaner production; Ecological economics.

1 INTRODUÇÃO

A expansão econômica e demográfica mundial nos séculos XIX e XX que elevaram o consumo material da humanidade têm gerado, desde a década de 1960, debates sobre a exaustão dos recursos naturais. A utilização generalizada destes e de forma não sustentável, gera um impacto ecológico significativo, e que tem se tornado social e econômico. Segundo Brown (2003), o sistema produtivo apresenta/mantém uma estreita relação com as tecnologias e o consumo ilimitado. Neste contexto, dois dos pilares mais importantes dos sistemas produtivos baseados em recursos energéticos sustentáveis são a eficiência energética e a produtividade material, que podem ser maximizadas através da reutilização e da reciclagem de materiais (MCKENNA et al., 2014).

Um referencial sobre escassez relativa e absoluta de recursos naturais foi desenvolvido pelo Grupo de Roma, ainda na década de 1960 (MEADOWS, 1972). Estudo recente sobre limitações futuras da disponibilidade de recursos selecionados evidenciou a necessidade de aumentar a eficiência dos recursos materiais (CORSTEN et al., 2013). Em termos de consumo de energia, a reciclagem de produtos e de embalagens de alumínio, por exemplo, se destaca por ter associada a capacidade única de não sofrer perdas na sua composição material quando passa por processos de reciclagem, podendo inclusive ser transformada em diversos produtos. Por isso, ficam evidentes os benefícios para os ecossistemas naturais e econômicos em termos de poupança de energia resultante/através da reciclagem de alumínio com relação aos custos a partir da produção primária (KRIVTSOV et al., 2004).

Os mercados nacionais e regionais de matérias-primas, produtos intermediários e produtos finais estão atualmente cada vez mais interligados por uma cadeia de abastecimento global e bastante complexa. Como a sucata de alumínio se tornou uma *commodity/mercadoria* no mercado global, isso tem aumentado a necessidade de analisar os fluxos bem como as consequências ambiental e econômica da sua reciclagem (LIU e MULLER, 2013; SEVIGNÉ-ITOIZ et al., 2014). Para incentivar a reciclagem como estratégia de independência material, o reforço dos mercados locais é essencial (SEVIGNÉ-ITOIZ et al., 2014).

De forma sucinta, o manejo dos resíduos sólidos urbanos no Brasil contava com uma gestão baseada em serviços que alcançaram 98,4% da população das cidades em 2012. De forma mais específica, tinha-se que 51,9% dos resíduos foram depositados em aterros sanitários; outros 14,0% em aterros controlados; 9,1% em lixões e apenas 4,1% enviados a unidades de triagem e compostagem; restando então 20,9% da massa de resíduos sem informação, sobretudo dos pequenos municípios com até 30 mil habitantes. O SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento) julgou pertinente admitir que um terço desta “massa sem informação” foram encaminhadas a aterros sanitários. Neste quadro, o SNIS admitiu que em 2012, cerca de 59% da massa total coletada no Brasil foi disposta de forma adequada, 14% de forma controlada e 23% de forma inadequada, destinada a lixões. Os outros 4% da massa de resíduos foram destinados a unidades de triagem e compostagem, percentual de resíduos que manteve-se estável em relação ao relatório de 2011 (SNSA, 2014). Contudo, apesar do avanço declarado pela SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, estrutura funcional do Ministério das Cidades), constata-se que no Brasil a estrutura de coleta regular de resíduos não é propícia à recuperação e reciclagem de sucatas, pois pouco mais de 4% do volume gerado anualmente está passando por unidades de triagem para recuperação.

A reciclagem de alumínio, economiza cerca de 95% da energia elétrica necessária para a sua produção primária quando o insumo é extraído diretamente da bauxita (ENRÍQUEZ, 2010). De acordo com a ABAL (2014b), o Brasil está no topo do *ranking* mundial da reciclagem de latas de alumínio.

Assim, existem dois relevantes cenários, que devem ter sua análise ponderada. O primeiro, refere-se basicamente com relação as informações estatísticas em escopo mais abrangente a nível nacional, pois acredita-se que no Brasil a taxa de reciclagem deste material alcança 97,9%, sendo a maior taxa mundial*. Contudo, essa recuperação refere-se apenas às latas de alumínio utilizadas em bebidas industriais e não à

* Os EUA reciclaram 67,0% das latas de alumínio em 2012; o Japão reciclou 92,5% das latas de alumínio em 2011; a Argentina reciclou 91,1% em 2010 e a União Europeia 66,7% em 2010 (ABAL, 2014b).

utilização de toda a sucata disponível. O segundo, leva em consideração uma análise estatística usada no nível local que difere substancialmente, principalmente devido as características de cada região, composição, densidade demográfica e outros fatores relevantes (MAZZANTI e ZOBOLI, 2008).

Todavia, no nível local, conforme afirmou Domingos (2011), a taxa de reciclagem de sucatas de alumínio em Cuiabá e Várzea Grande é de aproximadamente 43,2% do total de sucatas descartadas no espaço analisado, superando a média nacional brasileira que é de 35,2% e global que atinge 29,9%. É necessário um aprofundamento do conhecimento sobre o mercado de reciclagem de alumínio no Brasil e em seus diversos mercados regionais/locais, considerando o conjunto total de sucatas e não somente considerando o segmento “latas de alumínio” para elevar a taxa de recuperação desse material, que pode facilmente superar os referidos 35,2% no nível nacional, se forem gizadas políticas de apoio e incentivo econômico adequadas. Uma das questões-chave para o entendimento do funcionamento deste mercado é a necessidade de registros estatísticos confiáveis e disponíveis para análise de instituições e pesquisadores.

A teoria econômica apresenta ao menos duas vertentes na percepção da interação entre os sistemas produtivos e o meio ambiente. A diferença entre a economia neoclássica e a economia ecológica se mostra de forma brusca, pois a primeira lida com o sistema econômico como um fluxo circular fechado que visa apenas a produção e o consumo sem levar em conta a entrada e saída de matéria, e apresenta uma visão de que o sistema econômico possa integrar tecnologia o suficiente para substituir os recursos naturais quando estes se esgotarem. Por outro lado, a economia ecológica atenta para o fato de que a economia ser, nas palavras de Daly (1968, p.5): “um subsistema aberto dentro de um sistema total, finito e fechado”, que possui entrada de recursos naturais e saída de resíduos no meio ambiente.

Conforme Boulding (1966), o homem primitivo não possuía noção de que os recursos são escassos, sempre que no lugar onde habitavam os recursos se esgotavam, ele se movia em direção a um ambiente que possuía novos recursos; os seres humanos só conhecem aquele sistema em que participam, o qual recebem *inputs* do meio-ambiente na forma de ar, água, comida, e lançam de volta *outputs* na forma de excrementos, por exemplo. Dentro desse sistema, há três classes mais relevantes de *inputs* e *outputs*, as quais podem ser classificadas em matéria, energia e informação. Na parte da energia, os *inputs* disponíveis são encontrados na forma de combustíveis fósseis, energia solar, força da água, entre outros. No caso da matéria, ela somente adquire significância quando agregada ao conhecimento, ou seja, à informação, para poder ser bem utilizada. A informação, portanto, é a mais importante das três, pois é a única que não pode ser dissipada, tem a possibilidade de ser passada de geração em geração sem perder o seu valor inicial.

Segundo Cechin e Veiga (2010), existem duas origens básicas para a reprodução da matéria, sendo elas o fluxo solar e os estoques de minerais e energia presentes na Terra; visto que os estoques não ilimitados deve-se decidir qual a melhor forma de utilizá-los; dependendo da taxa de utilização de recursos – minérios e combustíveis fósseis –, ou seja, o ritmo pelo qual eles são consumidos, pode-se ter uma noção de quanto tempo levará para o seu esgotamento. Citando Cechin e Veiga (2010, p. 45):

[...] a economia em crescimento degrada as fontes de recursos e os sorvedouros de resíduos que são a base material que sustenta a atividade humana. Tais custos ecológicos associados ao aumento da escala do sistema econômico não são

computados pelas contabilidades nacionais nem são passíveis de valoração monetária. Mas se forem maiores que os benefícios gerados pelo crescimento, este estará sendo antieconômico.

Herman Daly (1991) apresentou uma matriz de *input* e *output* abordando dois setores, o não-humano e o humano. A economia ecológica se aplica na totalidade da matriz, a qual não faz uma análise isolada dos *inputs* e *outputs*, matéria-prima e resíduos respectivamente, os relacionando por meio da conservação da matéria-energia. O termo utilizado para representar a transformação dos recursos naturais de baixa entropia em produto, que depois será consumido e logo mais volta para a natureza na forma de resíduo, é denominado de *throughput*. Esse fluxo reconhece a função da entropia no sistema produtivo, visto que os materiais não podem ser totalmente reciclados e muito menos a energia.

Georgescu-Roegen (2012) afirmou que pode ser feita uma analogia entre a economia ecológica e a termodinâmica, bem como a abordagem da economia neoclássica à mecânica. A grande diferença na abordagem é que a economia neoclássica aceita a possibilidade de reversibilidade dos fluxos energéticos, enquanto a economia ecológica se fundamenta na irreversibilidade de tais fluxos. A partir da segunda lei da termodinâmica, a Lei da Entropia, a qual aponta que energia pode ser transformada em trabalho e depois de dissipada não pode mais ser utilizada, pode ser comparada ao processo econômico. Segundo o referido autor, pode-se observar que, os recursos naturais que entram no processo de produção, são recursos de valor, ou seja, de baixa entropia, e saem em forma de resíduos sem valor, de alta entropia. Ainda, destacou que a energia de forma qualitativa em dois aspectos: i) *livre*, que seria a dos *inputs*, matéria-prima que entra com baixa entropia; ii) *presa*, dos *outputs*, resíduos que saem do processo os quais apresentam alta entropia. A livre se encontra em ordem e a presa em total desordem. Assim, a economia ecológica opera em uma estrutura onde devem ser elaboradas ações concretas para controlar ou reduzir a entropia, enquanto a economia neoclássica não considera em seus pressupostos esta necessidade.

Devido a essa entrada e saída de matéria é que a sociedade deve se atentar ao fato de que o desperdício e o consumo acelerado estão gerando um acúmulo de resíduos no meio ambiente, e uma escassez dos recursos naturais disponíveis na natureza. A economia ecológica busca encontrar um equilíbrio no desenvolvimento econômico, onde se pode abordar o conceito de desenvolvimento sustentável, o qual busca encontrar um ponto de equilíbrio entre auferir excedentes e a garantia de bem-estar social e homeostase ecológica. Esta proposição estaria de acordo com a definição institucional de desenvolvimento sustentável presente no Relatório Brundtland, que seria buscar uma forma de desenvolver a sociedade atual, de forma a satisfazer as necessidades que são estabelecidas atualmente, sem prejudicar a sociedade do futuro (ROMEIRO, 2010).

Conforme Cechin e Veiga (2010), a economia neoclássica pode relacionar-se à teoria mecânica, a qual não se preocupa com a dissipação irreversível da energia e não reconhece os fluxos de matéria e energia que entram e saem do processo produtivo e muito menos a diferença qualitativa do fluxo energético. Romeiro (2010) apontou essa escola como tendo um conceito de “sustentabilidade fraca”, pois se pode notar nas teorias da economia convencional que o sistema econômico é tão grande de forma que a natureza não pode limitá-lo, ou seja, que o progresso técnico pode avançar de tal forma que supere os limites dos recursos

naturais, pois encontrará substitutos perfeitos para estes, tanto na forma de capital quanto de trabalho. Romeiro (2010, p. 9) destacou que:

Tudo se passa como se o sistema econômico fosse capaz de se mover suavemente de uma base de recursos para outra à medida que cada uma é esgotada, sendo o progresso científico e tecnológico a variável-chave para garantir que esse processo de substituição não limite o crescimento econômico a longo prazo.

Apesar de toda a abordagem da economia neoclássica, Enríquez (2010) assinalou que a escola ainda é a predominante e possui como vertente a economia dos recursos naturais. Vale ressaltar que existem recursos naturais renováveis e exauríveis, e que a diferença entre eles se constitui na “capacidade de recomposição de um recurso no horizonte do tempo humano”. Essa vertente busca uma forma de encontrar o “ponto ótimo” de gerir os recursos naturais exauríveis por meio de teorias com base no cálculo da taxa de desconto, como aborda a regra de Hotelling. Segundo Enríquez (2010, p. 55):

Para a economia ecológica, a determinação da escala em que os recursos naturais são usados é de importância vital, pois o uso além de certos limites pode provocar irreversibilidades ao ecossistema mais amplo do qual a economia é parte integrante. O problema é que não há modelagem para definição de qual a “escala ótima”. Assim, tal determinação está muito mais no campo da política de uso dos recursos do que em uma determinação técnica. Da mesma forma, não se pode pensar em produção dissociada da distribuição, como faz a economia neoclássica ao focar o uso dos recursos naturais apenas às estratégias de uso ótimo, ou seja, apenas eficiência alocativa.

Boulding (1966) sustentou a ideia de que para a economia se desenvolver, não é necessário um aumento de produção e consumo, mas sim buscar formas de alocar recursos reutilizando e reciclando-os. Pela concepção de Daly (1968), a economia deverá atingir um “estado estacionário”, onde há uma necessidade de parar o crescimento da população e do capital, aumentando a eficiência do capital e da alocação dos recursos de forma qualitativa sem aumentar a escala de produção, sendo uma forma de desenvolver sem crescimento. Por outro lado, Georgescu (2012) enfatiza que nem o estado estacionário e muito menos a reciclagem, apenas, irão fazer a diferença, mas sim a necessidade de implantar uma forma de decrescimento voluntário da economia, visto que esse decrescimento ocorrerá de uma forma ou de outra quando os recursos se esgotarem.

Portanto, as ideias de Boulding (1966) cabem mais ao contexto atual, pois o estabelecimento de uma mudança drástica nos costumes da população de forma a parar ou regredir o crescimento da economia se tornaria um desafio muito grande à humanidade. Os debates da questão ambiental não incorporaram o limite de crescimento da base material que se constituiria na referência para o estado estacionário de Herman Daly, muito menos aceita-se a proposição de Georgescu-Roegen de retroceder a dimensão da economia. Assim, a necessidade da reciclagem se coloca de forma clara, pois as políticas de crescimento do consumo tendem a reforçar a escassez relativa e absoluta dos estoques primários de minérios, abrindo possibilidades de criação de empreendimentos estruturados que possam elevar as taxas de reciclagem e reduzir as pressões sobre as jazidas primárias.

O presente artigo pretende apontar o montante de sucata de alumínio que foi reciclada em 2010 nos municípios de Cuiabá/Várzea Grande e no Brasil, bem como a quantidade de energia poupada com a prática no referido período em contraposição com a economia de energia do horário de verão no estado de Mato Grosso e no Brasil no mesmo intervalo de tempo. Para analisar sobre a melhor forma de alocar recursos, serão abordados os aspectos teóricos da economia ecológica em comparação com a economia neoclássica, para buscar um maior esclarecimento da importância do estudo realizado.

Em termos de estrutura este artigo, para além desta seção inicial, apresenta uma segunda seção onde se apresentam os aspectos metodológicos, uma terceira que apresenta os resultados da análise encetada e uma quarta com as considerações finais.

2 METODOLOGIA

O método de abordagem utilizado neste trabalho foi o dedutivo, que considera a aceitação do movimento na microescala como reflexo da macroescala. Conforme Gil (2008, p. 9), o método dedutivo “parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica”. Conforme Marconi e Lakatos (2003, p. 92), o método dedutivo pode chegar a uma conclusão da premissa ser correta ou incorreta, pois “ou as premissas sustentam de modo completo a conclusão ou, quando a forma é logicamente incorreta, não a sustentam de forma alguma; portanto, não há graduações intermediárias”.

O método de procedimento foi o estatístico, o que não significa que os resultados alcançados possam ser considerados completamente verdadeiros, mas antes que possuem grande probabilidade de mostrar a premissa como sendo verdadeira reforçando as conclusões encontradas. Segundo Gil (2008, p. 17) “o método estatístico passa a caracterizar-se por razoável grau de precisão, o que o torna bastante aceito por parte dos pesquisadores com preocupações de ordem quantitativa”.

Neste trabalho foram utilizados dados recentes sobre a reciclagem de alumínio em Cuiabá e Várzea Grande, coletados em pesquisa direta por Domingos (2011) e disponíveis também em Domingos, Faria e Manso (2014), tendo como ano base 2010. No período analisado foram registradas 4.153,763 toneladas de sucatas de alumínio recuperadas em Cuiabá e Várzea Grande, e outras 5.470,228 toneladas não recuperadas e que foram enviadas para a unidade de deposição sanitária de Cuiabá e para o lixão de Várzea Grande. Os dados de reciclagem de sucata de alumínio em nível de Brasil foram retirados do relatório da CNI e ABAL (2012), que indicaram um volume de 488.000,00 toneladas de sucatas de alumínio recuperadas em 2010.

Para estimar a poupança de energia no Brasil e em Mato Grosso, foram utilizados coeficientes técnicos de uso de energia na produção de alumínio com bauxita e com matéria-prima secundária de sucata de alumínio. Conforme a Tabela 1, para cada tonelada de alumínio produzida a partir da bauxita são necessários 15,613 Mw/h de energia, em contraste com a produção de alumínio a partir de sucata que utiliza apenas 0,7069 Mw/h de energia por tonelada (IPEA, 2010; CNI e ABAL, 2012; GETRA AMBIENTAL, 2014). Desta forma, pode-se reduzir o custo energético na produção de alumínio em cerca de 95,5% por tonelada de sucata de alumínio. Considerando o custo da energia e outros insumos, podem-se reduzir os custos econômicos da

reciclagem até 44,0% em relação aos custos da produção a partir da bauxita. Além deste indicador, podem-se mencionar outros ganhos como a redução de emissões de gases de efeito estufa[†] e outros ganhos ambientais (IPEA, 2010).

Tabela 1 - Consumo específico de energia na produção primária e secundária de alumínio

Produção de alumínio	Consumo específico de energia (Mw/h) por Ton.
Bauxita (primária)	15,613
Sucata de alumínio (secundária)	0,7069

Fonte: Adaptado do IPEA (2010), CNI e ABAL (2012) e Getra Ambiental (2014).

Em contraste com a estimativa de poupança de energia derivada da reciclagem de alumínio foi estimada a poupança de energia do horário de verão. O Horário Brasileiro de Verão consiste em adiantar em uma hora a hora legal (oficial) de determinados estados, processo que se adota por iniciativa do Poder Executivo desde 1931, mas que ocorreu de forma descontinuada no período 1931-1984. Desde 1985 o horário de verão tem sido adotado no Brasil sem interrupções. O horário de verão tem o objetivo de limitar a máxima carga a que o sistema elétrico fica sujeito, no período do ano de maior consumo, gerando maior confiabilidade do Sistema Interligado Nacional, constituído pelas linhas de transmissão e pelas usinas que atendem as regiões Sul, Sudeste, Centro-Oeste e parte da região Norte. Além disso, o horário de verão possibilita uma certa poupança de energia ao país. Apesar dessa relevante motivação técnica, tem havido posições contrárias a tal iniciativa, alegando que suas justificativas são insubsistentes ou, apesar de válidas, são insuficientes diante dos efeitos colaterais que o horário de verão gera em parcela da sociedade (MONTALVÃO, 2005).

O período do horário de verão 2009/2010 no Brasil, conforme o Decreto nº 6.558 de 08/09/2008, compreendeu 126 dias entre 18/10/2009 e 21/02/2010, envolvendo 12 estados da Federação[‡]. Foi registrada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2014) uma expectativa de redução da demanda de 31 MW no estado de Mato Grosso e de 2.587 MW no Brasil. Portanto, se considerar apenas os meses de janeiro e fevereiro de 2010, com uma redução média diária de 0,246 MW, pode-se observar que na 39ª edição do horário oficial de verão, foram poupados 12,546 Mw em Mato Grosso. Para o mesmo período, a poupança estimada para o Brasil foi de 1.047,119 Mw, com redução média diária de 20,531 Mw.

O horário de verão de 2010/2011 no Brasil, conforme o mesmo Decreto nº 6.558, compreendeu também 126 dias, entre 17/10/2010 e 20/02/2011. O ONS obteve um registro da expectativa de redução de demanda de 40 Mw em Mato Grosso e de 2.376 Mw no Brasil. Analisando apenas os meses de outubro, novembro e dezembro, com uma redução média diária de 0,317 Mw, tem-se que na 40ª edição do horário

[†] Devido ao uso de per-flúor-carbonos (PFCs) como catalisador na produção primária de alumínio, há grande emissão de gases de efeito estufa (GEE) considerados os valores em equivalentes de CO₂. Como estas emissões na produção de objetos a partir de sucata de alumínio são infinitesimais, há uma redução na emissão de GEE em 5,08 toneladas de CO₂ por toneladas de sucata de alumínio, que representaria cerca de 99,60% no corte das emissões (IPEA, 2010, p.17).

[‡] As unidades da federação brasileira participantes do horário de verão são: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Tocantins e Distrito Federal.

oficial de verão, houve uma poupança de 23,775 Mw no estado de Mato Grosso. Para o mesmo período, a poupança estimada para o Brasil foi de 1.414,286 Mw, com redução média diária de 18,857 Mw.

Para estimar a poupança de energia em Mw/h, foram utilizadas 3.024 horas como referência temporal. Somando-se janeiro, fevereiro, outubro, novembro e dezembro de 2010, tem-se 36,321 Mw de energia poupada pelo horário de verão em Mato Grosso. Para o Brasil, somando-se os mesmos meses, tem-se uma poupança pelo horário de verão de 2.461,405 Mw. Transformando para Mw/h, em função das 3.024 horas do horário de verão 2009/2010 e 2010/2011, tem-se uma economia de 109.834,704 Mw/h em Mato Grosso[§] e 7.443.288,720 Mw/h para o Brasil^{**}.

3 RESULTADOS

Como referência para as taxas de reciclagem verificadas no Brasil e em Mato Grosso, pode-se visualizar na Tabela 2 a quantidade de sucata de alumínio recuperada em diversos países em 2010. O Reino Unido apresenta a maior taxa de recuperação, 47,3% do total de sucata de alumínio descartada; o Brasil alcançou 35,2%, e a média global foi de 29,9%. Ressalta-se aqui que este dado refere-se a toda sucata de alumínio gerada e não apenas de latas de bebidas.

Tabela 2 - Taxa de recuperação de sucata de alumínio em países selecionados (2010)

País	Taxa de recuperação (%)
Reino Unido	47,3
Estados Unidos	44,6
Itália	43,6
Cuiabá e Várzea Grande (municípios brasileiros)	43,2
Espanha	42,2
Brasil	35,2
Coréia do Sul	34,6
Japão	31,0
Média global	29,9
França	27,5
Alemanha	24,7
Canadá	23,1
China	21,6

Fonte: Adaptado de ABAL (2014a).

Em 2010 havia no Brasil 190.732.694 milhões de habitantes que geraram 60,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos. Segundo CNI e ABAL (2012), foram recicladas 488 mil toneladas de alumínio, que representaram 35,2% do total de sucata de alumínio gerada em 2010. Com esse montante reciclado e atendendo aos coeficientes técnicos de produção, atingiu-se uma poupança de 7.274.176,800 Mw/h (7,274 Tw/h), visto que seriam necessários 7.619.144,000 Mw/h ou 7,619 Tw/h para produzir o total de alumínio que foi reaproveitado; frente ao que realmente foi consumido para reciclar essa quantidade de sucata, sendo 344.967,200 Mw/h ou 0,344 Tw/h, conforme Tabela 3. Em relação ao poupado no horário de verão de 2010 no

[§] Ou seja, 109,834 Gw/h.

^{**} Ou seja, 7,443 Tw/h.

Brasil, de 7,443 Gw/h, somente a reciclagem de alumínio poderia ter contribuído com cerca de 98% daquele efeito, ou seja, praticamente funcionando como um duplicador dos resultados de economia de energia pelo horário de verão.

Tabela 3 - Estimativa de poupança de energia no Brasil e Cuiabá/Várzea Grande (2010)

Características da reciclagem	Brasil	Cuiabá/Várzea Grande
Alumínio reciclado (ton.)	488.000,000	4.153,763
Energia necessária para produção (Mw/h) – A	7.619.144,000	64.852,701
Energia utilizada na reciclagem (Mw/h) – B	344.967,200	2.936,295
Poupança de energia reciclagem (Mw/h) - C=(A - B)	7.274.176,800	61.916,406
Poupança horário de verão (Mw/h) – D	7.443.288,720	109.834,704
Reciclagem / horário de verão – E=(C / D)	97,73%	56,37%
Potencial de alumínio reciclado (ton.) - F*	1.386.363,636	9.623,991
Poupança potencial de reciclagem (Mw/h) - G*	20.665.274,995	143.456,172
Poupança potencial / horário de verão - H=(G/D)*	2,7763	1,3061

Fonte: Elaborada pelos autores a partir de dados de IPEA (2010), ONS (2011), Domingos (2011) e CNI e ABAL (2012).

*caso 100% da sucata de alumínio fosse reciclada.

O montante total de sucata de alumínio descartado no ano de 2010 no Brasil, representa 1.836.363,636 toneladas. Em um cenário onde toda sucata descartada fosse recuperada, obter-se-ia uma poupança potencial de energia de 20.665.274,995 Mw/h ou 20,665 Tw/h, valores que mostram que o país possui um forte potencial na reciclagem do alumínio, que poderia reduzir de forma significativa o consumo de energia. Com esse potencial, é urgente planejar a construção de estruturas locais de reciclagem que podem impactar a economia em escala municipal, potencializando a necessidade da reciclagem que Boulding (1966) propôs. Frente ao horário de verão que poupa cerca de 7,443 Tw/h de energia, a reciclagem potencial de sucata de alumínio de 20,665 Tw/h de energia poderia representar um resultado mais expressivo.

Em 2010 havia em Cuiabá e Várzea Grande 804.059 habitantes que geraram 198.196,686 toneladas de resíduos sólidos. Conforme Domingos (2011) a quantidade de alumínio reciclada nos dois municípios chegou a 4.153,763 toneladas, representando 0,85% do total reciclado no país. Desconsiderando o montante de energia utilizada na prensagem e no transporte do alumínio até as indústrias recicladoras, Cuiabá e Várzea Grande utilizaram apenas 2.936,295 Mw/h para a recuperação do alumínio no ano de 2010.

Para transformar bauxita em alumínio utiliza-se um consumo de 15,613 Mwh/t; portanto, se todo o material reciclado em Cuiabá e Várzea Grande no ano de 2010, não fosse recuperado, ter-se-ia que utilizar um total de 64.852,701 Mw/h ou 64,852 Gw/h para se produzir mais 4.153,763 toneladas de alumínio. Assim, pode-se constatar que o montante de sucata recuperado no referido período, poupou 61.916,406 Mw/h ou 61,916 Gw/h de energia, visto que, no ato da reciclagem utiliza-se apenas 4,53% da energia consumida no processamento da bauxita em alumínio.

Como comparação a essa poupança de energia, para se compreender a relevância da reciclagem sob esse aspecto, utilizou-se a estimativa da poupança de energia durante o horário de verão do mesmo ano. A partir destas estimativas, compreende-se que no exercício de 2010, foram poupados 36,603 Mw em Mato Grosso em função do horário de verão. Considerando 3.024 horas dos meses do horário de verão, tem-se uma economia de 109.834,704 Mw/h ou 109,834 Gw/h, frente à poupança de 61,916 Gw/h da reciclagem de

alumínio em Cuiabá e Várzea Grande. Pode-se depreender daqui que a reciclagem de alumínio somente nestes dois municípios representou cerca de 56% da economia de energia da alteração do horário de verão em Mato Grosso. A reciclagem de alumínio potencializaria o processo de economia energética.

Ademais, o consumo total de energia elétrica em Mato Grosso em 2010 alcançou 2,651 Tw/h de energia. O horário de verão propiciou uma redução de 4,14% no consumo estimado daquele ano. A reciclagem pode ter evitado o consumo de 2,34% de energia elétrica, com um efeito potencial de 6,48% de poupança de energia em função da combinação do horário de verão e da reciclagem.

Se todo o alumínio gerado como sucata em Cuiabá e Várzea Grande fossem reciclados, conforme esperança de Boulding (1966) e Daly (1968), ter-se-ia uma redução de 143.456,172 Mw/h ou 143,456 Gw/hde energia na produção de novos materiais. Pode-se afirmar que a reciclagem de energia prestaria um importante serviço ambiental de parcimônia de energia.

Visto que, a poupança de energia alcançada com o horário de verão durante o período em estudo, se refere a todos os 141 municípios do estado de Mato Grosso, e a poupança encontrada com o reaproveitamento de sucata de alumínio limita-se apenas a Cuiabá e Várzea Grande, a relevância da reciclagem nestes municípios se apresenta de forma ampla frente à alteração do horário de verão. O potencial de poupança de energia, caso toda a sucata descartada fosse recuperada em Cuiabá e Várzea Grande no ano de 2010, pode elevar a poupança de energia 30,61% acima do que se poupa no horário verão, o que ainda poderia resultar em geração de emprego, renda e tributos. Nesta estimativa não está se considerando a reciclagem real e o potencial de reciclagem nos demais 139 municípios mato-grossenses, o que indica que um amplo plano de reciclagem poderia impactar na poupança de energia em um montante significativamente superior aos índices registrados na parcimônia de energia do horário de verão.

Em adição a este quadro, há posicionamentos contrários à manutenção do horário e verão no Brasil, fato que criaria a oportunidade de utilizar a reciclagem de alumínio como um processo substituto da mudança do horário. Segundo Montalvão (2005), no período noturno, a glândula pineal secreta a melatonina, hormônio que provoca a sonolência no organismo humano. A exposição do organismo à luz provoca uma abrupta queda na secreção desse hormônio, o que predispõe o organismo a retornar ao estado devigília. O horário de verão cria artificialmente um débito adicional transitório e, portanto, altera temporariamente os ritmos internos do corpo humano. Assim que o adiantar dos relógios é adotado, o organismo busca sincronizá-lo com o novo horário. Contudo, dado que cada indivíduo tem sua velocidade própria de sincronização, o organismo demora alguns dias ou semanas par estabelecer a ordem temporal interna.

A resposta do organismo ao horário de verão é bastante variável, mas certamente alguns indivíduos sofrem mais do que outros. Há um lapso de tempo até que a ordem temporal interna seja restabelecida, sendo que uma parcela dos indivíduos pode experimentar sonolência diurna e dificuldade para dormir no horário habitual, bem como alterações de humor ou de hábitos alimentares. Neste momento há possibilidade de ocorrer déficit de atenção, com risco de acidentes de trânsito, acidentes laborais e redução da produtividade do trabalho. Ainda não foram realizados estudos sobre o impacto do horário de verão nos ciclos circadianos e na economia, que poderiam lançar luzes no debate dos benefícios e custos da implantação de um horário de verão no Brasil (MONTALVÃO, 2005).

Ainda segundo Montalvão (2005), baseado em pesquisa de novembro de 2001 do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), houve um rejeição de 38% do horário de verão entre os entrevistados na região Nordeste, rejeição de 35% na região Centro-Oeste, 24% na região Sudeste e 18% na região Sul do Brasil. Em função da inclinação da Terra em relação ao sol, a região Sul seria aquela que mais se beneficiaria da alteração do horário, seguida pelas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste. Estes resultados de rejeição se aderem ao benefício percebido na dilatação do tempo de exposição à luz solar em sobreposição ao horário de verão. Quanto maior o benefício na dilatação do tempo percebido, menores são as rejeições. Aqui se concentra a crítica da qual o Brasil é o único país em região equatorial (até 10º de latitude Norte ou Sul) a adiantar os relógios durante o verão. Na região tropical brasileira a aceitação à alteração do horário seria menor do que na região subtropical e abaixo do Trópico de Capricórnio.

Desta forma, enquanto não se identifica a relação benefício/custo completa do horário de verão no Brasil, o aprofundamento da reciclagem de sucata de alumínio poderia potencializar a poupança de energia registrada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) pela alteração do horário durante o verão. Por outro lado, a reciclagem de alumínio poderia substituir o efeito global da economia de energia, mas sem o benefício da redução dos picos de consumo. Há um adendo a favor da reciclagem, pois esse processo arregimentaria um contingente de trabalhadores e de força produtiva, capaz de impactar as economias locais pela alocação de fatores de produção.

Como no Brasil a estrutura de reciclagem baseia-se em uma importante base de coletores/catadores (STROH, 2009) que operam de forma difusa e atomizada que ofertam matéria-prima secundária para as indústrias recicladoras, políticas de incentivo poderiam gerar efeitos sistêmicos na taxa de recuperação da sucata de alumínio. Segundo Domingos, Faria e Manso (2014) podem-se utilizar alguns instrumentos econômicos (IE) de comando e controle (CC) e de comunicação social (CS) factíveis que poderiam compor um mosaico de políticas de apoio ao segmento produtivo da reciclagem. Dentre alguns dos instrumentos discutidos pelos autores, destaca-se a necessidade de construção de uma política de preços mínimos de matéria-prima secundária, seguindo o Projeto de Lei n.º 2.867/2014 de autoria do Deputado Estadual Carlos Minc em tramitação na Assembleia Legislativa do Estado do Rio de Janeiro; tais preços mínimos funcionariam como mecanismos de “pagamento por serviços ambientais”, criando um piso referencial de preço e poderiam enviar sinais mais claros à sociedade e ao mercado de que os resíduos ainda possuem ao menos um “valor residual” com interesse econômico e ambiental. Sem dúvida, essa ação similar aos preços mínimos praticados no mercado agrícola poderia estruturar o setor de reciclagem e induziria a elevação das taxas de recuperação da sucata de alumínio e, conseqüentemente, da poupança de energia, para além de criar postos de trabalho, gerar mais rendimentos e impostos e aumentar as contribuições para a segurança social, entre outros benefícios.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A extração dos recursos naturais exauríveis deve ocorrer de forma planejada, visto que a velocidade da escassez real está cada vez mais acelerada devido ao elevado consumo material. Este planejamento pode se

dar através de um manejo mais adequado das matérias-primas utilizadas para a produção em si e da inserção de substitutos inovadores, além dos resíduos descartados por meio da reciclagem e reutilização.

Dado que ainda se vivencia um estado da economia em que se pode denominá-la de “economia do cowboy”, como fez Boulding (1966), onde o uso dos recursos naturais continuam se expandindo, busca-se uma forma de minimizar os seus impactos negativos, pois é impossível controlar a crescente entropia, segundo abordagem de Georgescu-Roegen (2012), em função da decisão de manter as metas de crescimento econômico sem considerar os limites biofísicos do planeta. Assim, a elevação das taxas de reciclagem é absolutamente necessária, conforme as abordagens de Boulding (1966) e Daly (1968), para se dilatar o tempo da exaustão dos recursos exauríveis, até que se encontre materiais substitutos ou até que a sociedade decida manter-se em estado estacionário ou ainda iniciar um processo de decrescimento material.

A partir dos dados encontrados e dos resultados atingidos, chega-se à conclusão de que a poupança de energia alcançada com a reciclagem do alumínio em 2010 no Brasil é de cerca de 98% em relação à poupança do horário de verão, enquanto em Mato Grosso alcança-se 56% de poupança de energia com reciclagem em relação ao horário de verão no mesmo ano. Em termos potenciais, caso toda a sucata de alumínio fosse recuperada por processo de reciclagem, ter-se-ia 20,665 Tw/h de energia poupada no Brasil em relação à produção primária de alumínio através da bauxita. Pelo horário de verão o Brasil poupou em 2010 cerca de 7,443 Tw/h de energia.

Em termos de economia local, em Cuiabá e Várzea Grande ter-se-ia um montante poupado de 143,456 Gw/h de energia pela reciclagem da sucata potencial de alumínio, contra 109,834 Gw/h de economia pelo horário de verão. Depreende-se que a reciclagem de alumínio ao nível de economia local poderia se tornar tão significativa quanto a economia de energia estimada pela alteração do horário durante o verão na economia nacional.

Portanto, a reciclagem pode se tornar tão significativa em termos de poupança de energia do que o programa do horário de verão, mesmo que em situação hipotética esse programa fosse encerrado. Dentre outros aspectos que a reciclagem da sucata de alumínio pode impactar, cita-se redução de 99,60% na emissão de gases de efeito estufa em relação à produção primária de alumínio, que poderiam reduzir os custos econômicos totais de recuperação de sucata.

A estruturação mais robusta e extensa de um segmento de reciclagem poderia gerar também novos empregos, expandir a renda e impactar positivamente nos tributos. Para que o mercado de reciclagem se estabeleça de forma mais vigorosa, poder-se-á lançar programas de incentivo, sendo que um dos promissores planos refere-se à criação de preços mínimos de vigência para os coletores/catadores de sucata, que está sendo discutida sua implantação no estado brasileiro do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. *Estatísticas*: total alumínio. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/total-aluminio/>>. Acesso em: 22 fev. 2014a.

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio.. *Latas de Alumínio*: índice de reciclagem de latas de alumínio. Disponível em: <<http://abal.org.br/estatisticas/nacionais/reciclagem/latas-de-aluminio/>>. Acesso em: 22 fev. 2014b.

BOULDING, K.E. *The economics of the coming spaceship earth*. Johns Hopkins University Press, 1966.

BROWN, L.R. *Eco-Economia*: construindo uma economia para a terra. Salvador: Earth Policy Institute, 2003

CECHIN, A.; VEIGA, J.E. O fundamento central da economia ecológica. In: MAY, P.H. (Org.). *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

CNI (Confederação Nacional da Indústria); ABAL (Associação Brasileira do Alumínio). *A sustentabilidade da indústria brasileira do alumínio*. Brasília: Editora CNI, 2012. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/downloads/abal-rio20.pdf>>.

CORSTEN, M., WORRELL, E., ROUW, M., VAN DUIN, A. The potential contribution of sustainable waste management to energy use and greenhouse gas emission reduction in the Netherlands. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 77, p. 13-21, 2013.

DALY, H.E. *On economics as a life science*. Chicago Journal, 1968.

DALY, H.E. *A economia ecológica e o desenvolvimento sustentável*. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1991.

DOMINGOS, H. A. *Economia dos reciclados*: uma análise do mercado de resíduos sólidos no Aglomerado Urbano Cuiabá/Várzea Grande. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Faculdade de Economia, Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e Desenvolvimento Regional, Cuiabá, 2011.

DOMINGOS, H. A.; FARIA, A. M. M.; MANSO, J. R. P. Perfil Econômico do mercado de resíduos sólidos: um estudo de caso no aglomerado urbano Cuiabá/Várzea Grande (MT) – Brasil. In: APDR CONGRESS. 20., *Anais*, v.1. p. 1-20. Évora, 2014.

ENRÍQUEZ, M.A. Economia dos recursos naturais. In: MAY, P.H. (Org.). *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

GEORGESCU-ROEGEN, N. *O decrescimento*: entropia, ecologia, economia. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2012.

GETRA AMBIENTAL. *Especificação da Reciclagem*. Disponível em: <<http://www.getraambiental.com.br/especificacao.php>>. Acesso em: 22 fev. 2014.

GIL, A.C. *Técnicas de Pesquisa em Economia*. São Paulo: Atlas, 2008.

IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada). *Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão dos Resíduos Sólidos*. Brasília: IPEA, 2010.

KRIVTSOV, V., WÄGER, P. A., DACOMBE, P., GILGEN, P. W., HEAVEN, S., HILTY, L. M., BANKS, C. J. Analysis of energy footprints associated with recycling of glass and plastic—case studies for industrial ecology. *Ecological Modelling*, v. 174, n. 1, 2, p. 175-189, 2004.

LIU, G., MÜLLER, D.B. Mapping the global journey of anthropogenic aluminum: A trade-linked multilevel material flow analysis. *Environmental Science and Technology*, v. 47, n. 20, p. 11873-11881, 2013.

MARCONI, M.A.; LAKATOS, E.M. *Fundamentos de Metodologia Científica*. São Paulo: Atlas, 2003.

MAZZANTI, M., ZOBOLI, R. Waste generation, waste disposal and policy effectiveness: evidence on decoupling from the European Union. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 52, n. 10, 2008.

MCKENNA, R., REITH, S., CAIL, S., KESSLER, A., FICHTNER, W. Energy savings through direct secondary reuse: an exemplary analysis of the German automotive sector. *Journal of Cleaner Production*, v. 52, p. 103-112, 2013.

MEADOWS, D.H. *Club of Rome. The Limits to Growth*; a Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Universe, New York, 1972.

MONTALVÃO, E. *O Setor Elétrico e o Horário de Verão*. Brasília, Consultoria Legislativa do Senado Federal, janeiro de 2005.(Textos para Discussão 19).

ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). *Horário de Verão*. Planilhas disponíveis em: http://www.ons.org.br/analise_carga_demanda/horario_verao.aspx. Acesso em: 31 ago. 2014.

ROMEIRO, A.R. Economia ou economia política da sustentabilidade. In: MAY, P.H. (Org.). *Economia do meio ambiente: teoria e prática*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

SEVIGNÉ-ITOIZ, E., GASOL, C. M., RIERADEVALL, J., GABARRELL, X. Environmental consequences of recycling aluminum old scrap in a global market. *Resources, Conservation and Recycling*, v 89, p. 94-103, 2014.

SNSA (Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental). *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2012*. Brasília: MCIDADES, SNSA, 2014. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=104>.

STROH, P. Y. Diagnóstico socioambiental do território do lixão municipal de Maceió: cidadania em vida do lixo. In: *Responsabilidade social das empresas: a contribuição das Universidades*. São Paulo: Editora Peirópolis: Instituto Ethos, 2009. (v. 7).