

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP

**AVALIAÇÃO EM EMERGIA PARA TOMADA DE
DECISÃO NA SUBSTITUIÇÃO DAS SOLDAS À
BASE DE ESTANHO E CHUMBO.**

MARCO ANTÔNIO MADUREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-graduação em Engenharia de
Produção da Universidade Paulista –
UNIP para a obtenção do título de mestre
em Engenharia de Produção.

**SÃO PAULO
2009**

UNIVERSIDADE PAULISTA – UNIP

**AVALIAÇÃO EM EMERGIA PARA TOMADA DE
DECISÃO NA SUBSTITUIÇÃO DAS SOLDAS À
BASE DE ESTANHO E CHUMBO.**

MARCO ANTÔNIO MADUREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção da Universidade Paulista – UNIP para a obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Cecília M. V. B. Almeida.

Coorientador: Biagio F. Giannetti

**SÃO PAULO
2009**

DEDICATÓRIA

À minha esposa Regina e aos meus filhos,
Francisco e Lara, pela compreensão, apoio
moral e espiritual.

AGRADECIMENTOS

A todos os companheiros da Cast Metais e Soldas Ltda.,
que muito colaboraram para a realização deste trabalho.
Aos Mestres, pela orientação e incentivo que sempre me
dedicaram.

EPÍGRAFE

“A natureza não faz milagre, faz revelações”.

Carlos Drummond de Andrade.

RESUMO

As soldas Estanho/Chumbo 63Sn/37Pb são largamente utilizadas no Brasil e no Mundo. Estas soldas são utilizadas em cadiño ou máquina “Reflow” ou “Wave”, na forma de barras ou vergas, e apresentam um índice de retorno de borra em torno de 25% para ligas com chumbo e 30% para as livres de chumbo. A substituição das soldas com chumbo está ocorrendo desde 2004, principalmente na Europa e no Japão. Na empresa em estudo, as soldas sem chumbo representam apenas 10% da produção total de soldas em suas diversas ligas. Observou-se, nos últimos anos, uma baixa preocupação com a logística reversa por parte dos clientes e fabricantes, assim como pelas questões da recuperação de resíduos. Neste trabalho, foi utilizada a avaliação em emergia e o indicador DALY para verificar o efeito dos resíduos das soldas, bem como da recuperação da borra, no processo de produção das soldas 63Sn/ 37Pb; 99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu e 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu, visando a tomada de decisão na substituição das ligas com chumbo. Com os resultados obtidos pela síntese em emergia, e pelo indicador DALY, pode-se fazer a comparação entre as soldas com e sem chumbo, possibilitando a decisão não só pelos ganhos financeiros, como também pelos aspectos da gestão dos resíduos, ambos fortemente influenciados pela logística reversa e pela reciclagem, bem como pelo DALY das soldas em estudo. Os resultados apontam para utilização das soldas livres de chumbo (SAC).

Palavras-chave: Emergia; Recuperação; SnPb; SAC; DALY.

ABSTRACT

63Sn/37Pb tin/lead solders are widely used in Brazil and the world. These solders are used in a furnace or "Reflow" or "Wave" machine in the form of bars or rods and have a sludge return rate around 25% for alloys with lead and 30% for lead-free alloys. The replacement of leaded solders has been occurring since 2004, mainly in Europe and Japan. In the Company object of this study, lead-free solders represent only 10% of the total solder in their various leagues. In the latest years we have noticed that customers and manufacturers have had a low concern for reverse logistics as well as for issues concerning waste recovery. In this study we used emergy accountancy and the DALY indicator to assess the effect of welds waste as well as the recovery of sludge in Sn63/Pb 37, Sn99/ Ag0.3/ 0,7Cu and Sn96.5/ Ag3/ Cu0.5 solders production process, envisaging the decision-making about substitution of alloys with lead. With the results obtained by emergy synthesis and the DALY indicator we can make a comparison between welds with and without lead. This allows a decision concerning financial gain and aspects of waste management, both strongly influenced by reverse logistics and recycling, as well as the DALY of lead-free solders. The results point to the use of lead-free solders (SAC).

Keywords: Emergy; recovery; SnPb, SAC; DALY.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura	Assunto	Página
Figura 1	Representação dos componentes das soldas brandas	18
Figura 2	Vista da fábrica	32
Figura 3	Representação esquemática do modelo utilizado para avaliar a emissão de um poluente com relação à toxicidade humana	43
Figura 4	Fluxograma de massa para a liga 63Sn/ 37Pb	46
Figura 5	Fluxograma de massa para a liga 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu	47
Figura 6	Fluxograma de massa para a liga 99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu	48
Figura 7	Diagrama de energia da produção de soldas brandas a base de estanho	49
Figura 8	Fluxogramas para simulação da captação de sucata	58
Figura 9	Ganhos em dólares com a captação de sucata por tonelada de liga produzida	59
Figura 10	Dalys calculados para a produção das soldas na Cast Metais e Soldas Ltda sem considerar o uso de EPIs	61
Figura 11	Comparação entre os valores do daly para os dois tipos de solda e para cada etapa do ciclo de vida das soldas	63
Figura 12	Comparação entre as soldas produzidas e os recursos não renováveis	64

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
Tabela 1	Toxicidade métrica	23
Tabela 2	Resultados integrados dos impactos ambientais dos vários tipos de soldas livres de chumbo	25
Tabela 3	Principais produtos da empresa em estudo	32
Tabela 4	Média da produção de solda da empresa em 2006/ 2007	33
Tabela 5	Variação do preço da tonelada de estanho nos últimos quatro anos	33
Tabela 6	Formulário para primeira avaliação de aspectos e impactos da Cast Metais e Soldas Ltda	35
Tabela 7	Definição das condições de operação	36
Tabela 8	Probabilidade de ocorrência de impacto	36
Tabela 9	Gravidade do impacto	37
Tabela 10	Grau de significância = probabilidade x gravidade	37
Tabela 11	Resultados da primeira avaliação de aspectos e impactos da Cast Metais e Soldas Ltda	38
Tabela 12	Símbolos utilizados no diagrama de energia	41
Tabela 13	Avaliação em emergia da produção anual de soldas 63Sn/ 37Ag	50
Tabela 14	Avaliação em emergia da produção anual de soldas 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu	51
Tabela 15	Avaliação em Emergia da Produção anual de Soldas 99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu	52
Tabela 16	Comparação do grau de significância (análise de aspectos e impactos conforme ISO 14001:2004) e da contribuição em emergia para o consumo de água, energia elétrica e GLP para as soldas em estudo	53
Tabela 17	Comparação do grau de significância (análise de aspectos e impactos conforme ISO 14001:2004 e da contribuição em emergia para o uso de aterro para as soldas em estudo)	54
Tabela 18	Simulação da substituição da liga 63Sn/ 37Pb, pela liga 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu e pela liga 99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu	54
Tabela 19	Emergias por unidade dos três tipos de solda produzidas	55
Tabela 20	Resumo das emergia das ligas e da porcentagem de borra e sucata recolhidas atualmente pela empresa	55

Tabela	Página
Tabela 21 Preços da tonelada de estanho, chumbo, prata, cobre e borra, em março de 2009.	56
Tabela 22 Simulação do retorno de borra da liga 63Sn/ 37 Pb	56
Tabela 23 Simulação do retorno de borra da liga 96,5 Sn/ 3 Ag/ 0,5 Cu	56
Tabela 24 Simulação do retorno de borra da liga 99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu	56
Tabela 25 Simulação da captação anual de sucata da liga 63Sn/ 37 Pb	57
Tabela 26 Simulação da captação anual de sucata da liga 96,5 Sn/ 3 Ag/ 0,5 Cu	59
Tabela 27 Simulação da captação anual de sucata da liga 99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu	59
Tabela 28 Cálculo da emergia associada aos anos perdidos devido às emissões na manufatura	61
Tabela 29 Valores de daly e emergia convertidos em moeda considerado o uso de EPIS para os dois tipos de solda	62
Tabela 30 Comparaçao do desempenho das três ligas em estudo na manufatura	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Política de Gestão Integrada da Cast Metais e Soldas Ltda	39
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
AVI	Anos vividos com incapacidade
AVP	Anos de vida perdidos
CADRI	Certificado de aprovação de resíduos industriais
CE	Comunidade Europeia
DALY	Disability adjusted life years – anos perdidos da qualidade de vida, não vividos por motivo de doença, incapacidade ou morte
EE	Energia elétrica
EPI	Equipamento de proteção individual
EPC	Equipamento de proteção coletiva
GLP	Gás liquefeito de petróleo
Livre de chumbo	Solda à base de estanho e outros metais que não o chumbo (SAC)
Ligas com chumbo	Soldas à base de estanho e chumbo (SnPb)
NRR	Recursos não renováveis
OSHAS	Série de avaliação da segurança e saúde ocupacional
PESI	Indicador de sustentabilidade
PRLR	Razão entre o rendimento em emergia
PEYR	Carga ambiental
P + L	Produção mais limpa
SnPb	Solda 63Sn/ 37Pb
SAC	Solda à base de estanho, prata e cobre
RIMA	Relatório de impacto sobre o meio ambiente

SUMÁRIO

	PÁGINA
CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO	
1. Introdução	14
CAPÍTULO 2. OBJETIVOS	
2.1 Objetivo geral	17
2.2 Objetivos específicos	17
CAPÍTULO 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	
3.1 Aspectos da substituição do chumbo nas soldas à base de estanho	19
3.2 A logística reversa	27
3.3 A emergia aplicada a sistemas industriais	29
3.4 A emergia associada ao impacto na saúde humana	30
CAPÍTULO 4. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	
4 Apresentação da empresa	31
4.1 Avaliação inicial global	34
CAPÍTULO 5 METODOLOGIA	
5 Metodologia	40
CAPÍTULO 6. RESULTADOS	
6 Resultados	45
CAPÍTULO 7. DISCUSSÃO	
7.1 Comparação da avaliação em emergia com a análise de aspectos e impactos conforme ISO 14001:2004	53
7.2 Simulação da substituição total da liga 63Sn/37Pb pela ligas livres de chumbo	54
7.3 Avaliação do papel da logística reversa no desempenho ambiental da empresa	55
7.4 Avaliação das emissões e dos danos à saúde humana dos três tipos de solda	60
7.5 Comparação dos ciclos com os recursos não renováveis das soldas produzidas pela Cast	63
CAPÍTULO 8. RESULTADOS	
8 Resultados	65
9. BIBLIOGRAFIA	
9 Bibliografia	68
10. ANEXOS	
10 Anexos	74

1. INTRODUÇÃO

A humanidade vem acompanhando, ao longo do último século, um grau de desenvolvimento tecnológico como nunca se observou antes. No entanto, o mesmo não vem acontecendo em relação ao gerenciamento dos bens comuns, entre eles, o mais importante, a “Gestão do Meio Ambiente”.

Nas questões que tratam do uso de metais pesados pela indústria não é preciso esforço para lembrar da baía de Minamata, Raloff (1991) e tantos outros casos que isoladamente prejudicaram e continuam prejudicando populações inteiras. Pode-se ainda lembrar dos trabalhadores das diversas áreas da atividade humana que por ignorância acabaram por perder suas vidas pelo aparente “conforto da humanidade” ou pela busca de uma pseudo-riqueza. Segundo Charles (2003):

Parece que os fabricantes de eletrônicos têm ignorado relativamente os impactos na sociedade, que certamente serão evidentes nas gerações futuras. A aceitação inocente, por parte da população, de um modo mais fácil de vida, leva a uma tolerância quanto aos conceitos verdadeiros sobre o impacto dos produtos eletrônicos sobre a saúde humana e o meio ambiente. Para uma avaliação completa do impacto de um produto, o mesmo deve ser examinado a partir da sua concepção, materiais utilizados, processos de fabricação, distribuição e utilização, até a sua eliminação definitiva, no final da sua vida.

A substituição das soldas à base de chumbo vem ocorrendo desde 2004 principalmente na Europa e no Japão, Turbini (2000). O mesmo não vem ocorrendo no Brasil, onde se observa uma baixa preocupação com a logística reversa por parte dos clientes e fabricantes, assim como pelas questões da recuperação de resíduos.

Quando se trata de metais pesados é fácil propor sua substituição ou sua eliminação com base na nocividade para a vida humana, mas, por vezes, estas propostas se defrontam com barreiras tecnológicas, seja por dificuldades nos processos de manufatura existentes, seja pela qualidade do produto acabado, mesmo que este seja nocivo à natureza e ao homem. Neste caso, os usuários e fabricantes de soldas brandas, principalmente aquelas compostas por ligas contendo chumbo, sabem ou deveriam saber, o quanto à reciclagem é importante na proteção e gestão ecologicamente correta dos recursos naturais não renováveis. A taxa de reciclagem pode ser considerada como um fator chave para o controle da relação entre as soldas com chumbo e as sem chumbo. Itsubo (2003).

As dificuldades encontradas na atual economia globalizada são as de como conjugar as necessidades da produção cada vez em maior escala de itens produzidos, com alta qualidade do produto, a preços cada vez mais baixos e definidos pelo mercado, sem esquecer dos aspectos da sustentabilidade, da produção mais limpa e da escassez de recursos naturais.

É importante ressaltar que, no caso das soldas brandas, a substituição do chumbo certamente causará apenas uma diminuição aparente na mineração de chumbo, visto que os metais substitutos, incluindo Ag, Bi e Sb, são minerados juntamente com o chumbo, Graedel (1995). A prata, em especial, surge como o metal com maior potencial para substituição do chumbo nessas ligas e a porcentagem utilizada desse elemento é muito baixa nas ligas livres de chumbo, mas a substituição certamente exigirá maior mineração e recuperação dos resíduos de estanho.

Para substituição do chumbo nas soldas, a opção da prata é intermediária. O índio e bismuto ocorrem em concentrações extremamente baixas como minérios e ambos, são produzidos quase completamente como subprodutos de outros minérios: o Índio é um subproduto da mineração do zinco e o bismuto da do chumbo. Os depósitos de prata são relativamente ricos, mas aproximadamente dois terços da prata é produzida como um subproduto de mineração outros minérios, Graedel (1995).

Ao se adotar a visão da ecologia industrial, pode-se perceber com maior clareza que a proibição do chumbo é apenas um dos aspectos que devem ser observados pelas indústrias fabricantes de soldas e de eletroeletrônicos. Neste caso, os usuários de soldas compostas por ligas contendo chumbo devem considerar a importância da reciclagem na proteção e gestão destes recursos naturais não renováveis, como argumenta Itsu (2003):

A taxa de reciclagem pode ser considerada como um fator chave para o controle da relação entre as soldas com chumbo e as sem chumbo.

Quanto à utilização do chumbo, há três aspectos a se considerar. O primeiro se refere às questões da toxicidade do chumbo pela lixiviação e contaminação dos seres humanos através da água, após o descarte dos resíduos de manufatura ou uso dos resíduos dos produtos eletrônicos. O segundo está associado à possibilidade da inalação de gases causados pelos vapores do chumbo durante a manufatura dos produtos. O terceiro se refere às questões da mineração e utilização dos recursos naturais, onde poucas são as ferramentas com visão sistêmica para um estudo mais abrangente, sendo esse o foco desse estudo.

Certamente, uma alternativa para eliminar os riscos potenciais do chumbo é melhorar ainda mais a infraestrutura de retorno de materiais, evitando, assim, a lixiviação e o uso de matérias-primas virgens. Neste caso, a logística reversa, bem como a recuperação dos resíduos industriais pela captação de sucata de produtos eletroeletrônicos pode auxiliar na redução do impacto causado pela fabricação destes produtos. Esses métodos incluem a recuperação do metal incluso na borra, contemplando ainda a reutilização da sucata decorrente dos produtos eletrônicos obsoletos. Essa área de trabalho está sendo estudada

por diversos pesquisadores e engenheiros do segmento de soldas à base de estanho, como Itsubo (2003), Turbini (2000), Ku (2003), Okamoto, (2005) e outros.

Como o chumbo vem sendo ainda muito utilizado e os estoques de estanho são, também, limitados, a abordagem da ecologia industrial traz a vantagem de avaliar o esgotamento de metais virgens e a destinação dos resíduos para os aterros sanitários. Além disto, deve-se lembrar que a manutenção do uso do chumbo reduz o consumo de energia em todo o ciclo de vida das soldas, devido às menores temperaturas empregadas nos processos de manufatura e soldagem. A abordagem da ecologia industrial visa a manutenção do um ciclo fechado, do berço ao berço, reduzindo de forma apreciável a destinação para os aterros sanitários.

A motivação deste estudo relativo aos processos produtivos das soldas brandas nasceu da implantação e implementação de um Sistema de Gestão pela Qualidade baseado na Norma ISO9001: 2000, e do posterior interesse da Cast Metais e Soldas na ampliação do escopo de certificação contemplando as Normas ISO14001: 2004 Sistemas de Gestão Ambiental. Os trabalhos foram iniciados pela verificação dos aspectos e os impactos ambientais relacionados aos processos já desenhados no sistema de gestão da qualidade, que já havia obtido a certificação em setembro de 2006.

Neste estudo, aplica-se a avaliação em emergia em uma fundição de soldas brandas à base de estanho, chumbo e outros metais. A aplicação da avaliação em emergia na Cast Metais e Soldas, visa auxiliar a gestão dos recursos naturais não renováveis que essa fundição utiliza para fabricação de seus produtos, permitindo a escolha das melhores práticas em termos de produtividade e competitividade.

Este trabalho tem entre seus objetivos despertar a atenção daqueles que gerenciam pequenos ou grandes negócios relacionados à utilização das soldas à base de estanho e chumbo, bem como as soldas livres de chumbo, para correta conduta com os bens fornecidos pela natureza. Estes bens, embora propiciem lucros para aqueles que manufaturam produtos derivados de metais, deveriam ser tratados com todo o cuidado e respeito, principalmente por serem bens não renováveis que, se gerenciados de forma imprudente, além de causarem danos à saúde humana, poderão faltar em futuro mais próximo do que se imagina.

Este trabalho abrange a produção de três ligas da Cast Metais e Soldas, sendo essas ligas as mais importantes em nível de faturamento, bem como quanto à quantidade produzida. Avalia-se a produção de três tipos de soldas: uma com chumbo e duas soldas sem chumbo, trabalhando com dados coletados diretamente da produção, em documentos formais de aquisição de matérias-primas, eletricidade, gás e outros insumos necessários para a produção desses tipos de soldas nos anos de 2006 e 2007.

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo propiciar aos fabricantes de soldas à base de estanho elementos para a tomada de decisão quanto à substituição do chumbo nas ligas produzidas.

2.1 Objetivo geral

- a. Utilizar a síntese em emergia aplicada aos processos de fabricação das soldas, utilizando ligas de estanho chumbo (SnPb) e ligas livres de chumbo (SAC), visando avaliar o uso dos recursos utilizados (renováveis, não renováveis e econômicos) em ambos os processos.
- b. Utilizar a síntese em emergia para avaliar a substituição do chumbo nas soldas à base de estanho.

2.2 Objetivos específicos

- c. Avaliar, por meio da síntese em emergia, três tipos de ligas utilizadas para solda na indústria eletroeletrônica.
- d. Comparar a avaliação inicial de impacto efetuada pela empresa com a avaliação em emergia.
- e. Calcular a emergia total do sistema com a total substituição das ligas de Sn/Pb pelas ligas livres de chumbo.
- f. Avaliar a eficiência dos processos de fabricação dos três tipos de liga.
- g. Comparar os ganhos financeiros e ambientais da utilização da logística reversa.
- h. Comparar os ganhos financeiros e ambientais da utilização de sucata adquirida de terceiros.
- i. Calcular o dano à saúde humana causado pela utilização das soldas em unidades de emergia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A soldagem branda nada mais é que a junção de dois ou mais metais utilizando baixa temperatura de fusão de ligas, contendo estanho como metal de enchimento. Essas ligas são conhecidas internacionalmente como “Soldas Brandas” ou “Soldas Inglesas”. A temperatura de fusão do metal de enchimento – Liga de Solda – é usualmente muito mais baixa do que a do metal base ou dos metais que estão sendo unidos. O metal de enchimento nesse tipo de soldagem “molha” e faz ligação com o metal base por ação capilar, enchendo os vazios entre eles, formando uma ligação metalúrgica, segundo Perassi (1990). Os componentes básicos em juntas soldadas podem ser representados pelo diagrama da Figura 1.

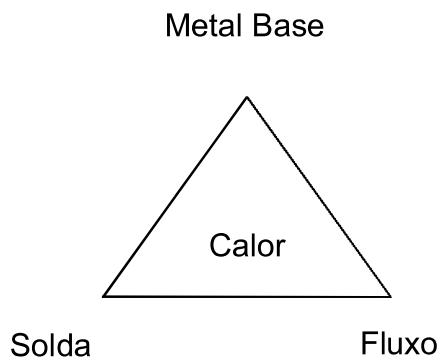


Figura 1. Representação dos componentes das Soldas Brandas Perassi (1990).

O termo soldagem implica em processos de junção, utilizando-se temperaturas abaixo de 450°C (frequentemente abaixo de 300°C). Essas temperaturas são comuns para as soldas com e sem chumbo, não as diferenciando pelo processo de manufatura, mas pelo consumo de energia elétrica e gás, bem como pela nobreza e escassez dos elementos de liga, assim como pela produção de borras. A produção de borra é devido à oxidação da liga que ocorre durante a soldagem, cabendo ao fabricante da solda a recuperação do material de propriedade do cliente, agregando apenas a mão de obra e devolvendo a solda na liga solicitada pelo cliente no formato que mais lhe convier, ou seja, barras, fios, vergas, etc. Essa oxidação, embora natural, poderia ser melhor controlada caso os usuários finais observassem os parâmetros de processo correspondentes à regulagem das máquinas ou, ainda, por novas tecnologias para os fornos de fusão e refusão, segundo Deubzer (2001). Mas enquanto isso não ocorre, o rendimento do processo é prejudicado criando maior quantidade de borra, rica em estanho, chumbo e ou outros metais, que, se não misturada a outras ligas, poderá ser aproveitada para a recomposição de ligas em fornos de recuperação.

Na fusão de todas as ligas, pode-se também utilizar sucata e, portanto, menor quantidade de metais virgens, auxiliando na redução do emprego de recursos naturais não renováveis. Neste caso, para o fabricante de soldas, o uso de sucata passa a ser vantajoso no que se refere à economia de matéria-prima.

Cabe ressaltar que muitas são as vertentes técnicas e científicas encontradas na literatura quando se trata da questão ambiental na manufatura e no uso de soldas brandas. Sem dúvida, todas são procedentes, tanto as que se preocupam com as diferenças dos processos de manufatura de eletroeletrônicos que utilizam as soldas leves para a união de componentes, contendo ou não o chumbo, como as que tratam dos aspectos da lixiviação, da emissão dos vapores de chumbo e as doenças provocadas pelos metais pesados. Entretanto, poucos são os trabalhos associados com a utilização de recursos não renováveis na fabricação destas ligas e, a maioria deles, aplica a avaliação do ciclo de vida (ACV) como metodologia de estudo.

Para facilitar o entendimento e a leitura do texto, a revisão bibliográfica foi dividida em quatro itens, conforme segue:

- 3.1 Aspectos da substituição do chumbo nas soldas à base de estanho;
- 3.2 A Logística reversa;
- 3.3. A emergia aplicada a sistemas industriais;
- 3.4. A emergia associada ao impacto na saúde humana.

3.1 Substituição do chumbo nas soldas à base de estanho.

O Surface Mount Council publicou, em 1992, um documento para a indústria sobre a utilização de chumbo nos eletrônicos. Nessa altura, a possibilidade de a legislação restringir seriamente a utilização de chumbo estava sendo considerada nos Estados Unidos e, até meados de 2000, as informações insuficientes não permitiam tomadas de decisão. Conforme salienta Turbini (2000), uma série de reuniões de estudos técnicos foram realizadas na Europa e no mundo nos últimos anos, todas visando determinar alternativas viáveis e para o estudo da substituição das soldas de chumbo pelas ligas isentas de chumbo. O documento do Surface Mount Council desencadeou a proposta da União Europeia (UE) de uma Diretiva 2002/95/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de janeiro de 2003. Essa diretiva sobre o tratamento e destinação dos resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos, assim como pelo foco na reciclagem e no marketing ambiental que o Japão começava a praticar, acabou definindo uma data limite para eliminação de produtos com a presença de chumbo. A diretiva salientava que o impacto ambiental do chumbo utilizado na indústria eletroeletrônica era significativo nos aterros que fizeram parte dos estudos até aquele momento, e que ações deveriam ser tomadas.

Itsubo (2003) avalia o dano na saúde humana para discutir a efetividade da substituição do chumbo. Os resultados das pesquisas de Itsubo estabelecem um fator de dano para o chumbo e mostram que o dano causado à saúde humana, pela inclusão de chumbo na solda, é alto, sendo este um forte argumento para reciclagem.

O próprio autor considera a necessidade para estabelecer o fator de dano do chumbo para melhorar a qualidade de avaliação de dano, onde a taxa de reciclagem deva ser considerada como um fator chave a ser controlado para decisões na escolha entre as soldas com e sem chumbo. Admitiu que a sensibilidade da análise do dano de saúde humana deve considerar os aspectos da reciclagem em futuras pesquisas, onde as quantidades de chumbo emitidas na mineração até a produção de lingote foram calculadas em 0,6 g de chumbo emitido para cada quilograma de solda produzida.

Para este autor, a taxa de reciclagem pode ser considerada como um fator chave a ser controlado em relação às soldas contendo chumbo, bem como para as sem chumbo. O autor sugere que uma avaliação global, abrangendo outras condições geográficas do planeta, é necessária para melhorar a confiabilidade nos dados quanto à avaliação do dano à saúde humana.

De outro lado, Andrae (2007), que tenta expandir o estudo de Itsubo (2003) para a escala global, questiona os benefícios da reciclagem:

É incerto que o Sn, Ag, Pb, Cu e soldas metálicas serão reciclados e que serão utilizados especificamente para produção de novas soldas. A quantificação desses aspectos é especialmente importante para Ag e para o Sn. O aumento da reciclagem de Ag e Sn poderia ser significativo na diminuição do impacto global, mas na presente investigação, utilizando o método LIME (método de modelagem de avaliação de impacto no fim de vida do produto), não foi possível aplicar os fatores globais para os efeitos observados na avaliação de impacto local.

Embora na comunidade Europeia e em alguns países asiáticos, incluindo o Japão, estejam utilizando as soldas livres de chumbo, fazendo com que elas sejam aplicadas na produção em grande escala, no Brasil as soldas estanho/chumbo são ainda largamente utilizadas, não só devido a seu custo, como também pelo seu grau de “molhagem” e pelas suas propriedades físico-químicas, que agregam maior confiabilidade aos equipamentos eletroeletrônicos, argumenta Perassi (1994).

Muitos argumentam sobre o aumento significativo do consumo de energia elétrica para os processos de soldagem com as ligas livres de chumbo, mas concluem que a eliminação do chumbo e o custo efetivo dessa eliminação proporcionarão benefícios operacionais e de mercado para os fabricantes eletrônicos. O aumento do consumo de energia elétrica deve-se ao fato de os pontos de fusão das ligas sem chumbo serem superiores aos da liga com chumbo, conforme Ciocci (2006). Turbine (2006) afirma que a escolha das ligas substitutas

com relação às com base no estanho e chumbo é normalmente orientada pelas temperaturas mais altas de soldagem exigidas para a maioria das soldas livres de chumbo, se comparadas com as tradicionais soldas de SnPb que fundem a temperaturas de 183°C. As duas alternativas livres de chumbo em estudo têm uma temperatura de fusão muito mais alta, como a da liga cobre e estanho com temperatura de 227°C, a da liga prata e estanho com 221°C e a da liga cobre, prata e estanho com 217°C. Outros aspectos também são afetados, assim como as instalações elétricas, o substrato da placa impressa, os componentes e os fluxos de limpeza química.

Segundo Deubzer (2001), a reciclagem das soldas sem chumbo pode poupar energia. Apesar de o consumo de energia para a solda SAC ser cerca de duas vezes maior que o consumo de energia para a SnPb, a reciclagem da prata nas soldas SAC tem uma redução de custo de US\$ 0,13 por quilograma de solda, comparada com reciclagem da solda SnPb. O autor calculou a que o custo de reciclagem para uma placa soldada com SAC, que é cerca de 20 a 40% da SnPb. Este fato pode aumentar consideravelmente as taxas de reciclagem das ligas sem chumbo, fazendo com que a substituição da solda SnPb seja ainda mais vantajosa. A reciclagem assim reduz o custo do ciclo de vida das soldas sem chumbo.

Segundo Itsubo (2005), a mudança para soldas livres de chumbo dá uma contribuição importante para a redução do impacto ambiental no Japão. Em contraste com a continuação da utilização de soldas convencionais, esta redução acumulada implicará a eliminação do impacto social. De acordo com projeções feitas por este autor, a mudança das ligas SnPb para as livres de chumbo, provocará um saldo que trará, com a reciclagem, cerca 97 bilhões de ienes de redução nos custos operacionais, além dos custos sociais.

Turbine (2000) relata que, do ponto de vista da ecologia industrial, é importante refletir sobre o impacto ambiental de produtos eletrônicos livres de chumbo, através do seu ciclo de vida inteiro. Isto inclui fatores, tais como: ligas disponíveis, considerações sobre o processamento, a utilização da energia, além da contaminação das águas subterrâneas. Segundo esta autora pode-se verificar que os produtos sem chumbo não são mais respeitadores do ambiente do que os atuais produtos eletrônicos soldados com SnPb. Assim, o foco da futura regulamentação sobre produtos livres de chumbo deve estar centralizada na recuperação e reciclagem dos metais em fim de vida, conforme exigido pela Diretiva Europeia, e não simplesmente na eliminação da solda à base de chumbo.

As observações de Turbini (2000) são complementadas pelas pesquisas realizadas por Reuter (2004). Segundo este autor, os resultados e argumentos mudarão quando os desenvolvimentos tecnológicos (nos fornos de recuperação e na manufatura das placas eletrônicas) levarem à utilização efetiva das soldas livres de chumbo. Nesta etapa, somente serão levadas em conta a produção de metal primário e as taxas de reciclagem.

Segundo Reuter (2004), em futuro próximo a prática atual de aumentar a qualidade do produto através da utilização de metais primários não poderá se sustentar. Para que possamos sustentar continuamente a disponibilidade de metais em um ciclo fechado de materiais metálicos, todas as restrições e possibilidades da utilização de metais na rede de produção devem ser levadas em conta, incluindo o desperdício da infraestrutura, do projeto e das operações, e vice-versa.

Quando se trata da lixiviação das placas impressas manufaturadas com soldas contendo chumbo e as com soldas sem chumbo, Townsend (2008) relata que, na relação entre a densidade da solda (solda por cento do peso sobre uma placa) e os metais examinados quanto à lixiviação, apenas o chumbo e o bismuto forneceram uma relação clara de impacto. O estanho e a prata não apresentam valores suficientes para que fossem feitas comparações. Os traços de cobre que apareceram nos ensaios foram apontados como decorrentes das próprias placas impressas e não da solda. A prata raramente foi detectada entre as diversas amostras ensaiadas, com nenhum dos testes excedendo o limite estipulado.

Segundo Ku (2003), as soldas alternativas sem chumbo são mais seguras em termos de toxicidade e impactos ambientais. A autora classifica os metais quanto à toxicidade e compara os resultados com a disponibilidade e oferta e a sua posição quanto aos impactos ambientais na extração. Com a soma dos resultados, oferece um *ranking* final (Tabela 1). Além disto, Ku (2003) ressalta que não se sabe se os lançamentos no meio ambiente de quantidades semelhantes dos metais alternativos, mesmo com menor toxicidade, têm efeitos como os provocados pelo chumbo e que há a necessidade de pesquisas adicionais para avaliação da toxicidade e dos impactos ambientais dos metais alternativos.

Tabela 1. Toxidade métrica - Os metais classificados em ordem decrescente de toxicidade de acordo com as categorias bio-acumulativas cancerígenas, segundo limite padrão da água potável da EPA, limite de exposição permissível pela OSHAS.

Metal	Posição quanto à Toxicidade	Posição da Disponibiligade e Oferta	Posição quanto aos Impactos Ambientais da Extração	Soma dos Resultados	Posição Final
Chumbo	1	6	6	13	5
Antimônio	3	4	4	11	3
Bismuto	5	2	5	12	4
Cobre	6	7	7	20	7
Índio	4	1	3	8	2
Prata	2	3	1	6	1
Estanho	7	5	2	14	3
1 - Menos desejável		7 – Mais desejável			

Fonte: Sumário métrico da toxicidade dos metais, Ku (2003).

Os perigos para a saúde humana e os danos ambientais durante a fabricação e o fim de vida são as principais preocupações que têm conduzido a uma regulamentação rigorosa da utilização do chumbo no campo da eletroeletrônica. Entretanto, os resultados da avaliação de ciclo de vida publicados muitas vezes contrariam as expectativas do meio científico e dos produtores de soldas, dificultando a tomada de decisão. Fujimo (2003), empregando a avaliação de ciclo de vida, relata que a toxicidade do chumbo e o valor de consumo de energia são os maiores impactos causados pelas soldas para o meio ambiente. Segundo este autor, como o ponto de fusão da solda livre de chumbo é mais alto que o da solda SnPb convencional, a substituição das soldas à base de chumbo aumenta o consumo de energia e o consumo de soldas em si. Zhou (2008) relata que a solda sem chumbo utilizada comumente a SAC tem impacto ambiental global comparável ao da solda de estanho-chumbo convencional, quando todo o ciclo de vida é levado em conta. A substituição das soldas à base de estanho e chumbo causa a diminuição da toxicidade, mas também um aumento de consumo de energia dos fornos de processamento. Entretanto, o autor destaca que, devido à melhoria dos fornos e o desenvolvimento de novas tecnologias, certamente poderá haver um menor consumo de energia e outros argumentos serão necessários para a tomada de decisões futuras.

Nos casos em que se faz uma avaliação de ciclo de vida, a tomada de decisão pode ser dificultada pela insuficiência de dados ou dados conflitantes, ou contraditórios, conforme se pode observar nos comentários de Segerberg (1996):

A conclusão é de que os resultados dependem fortemente de como os resíduos das soldas e adesivos condutivos são avaliados ao longo do ciclo de vida e sobre o princípio de atribuição utilizado quando se aloca a carga ambiental da mineração e dos metais. É, portanto, imprudente tomarmos quaisquer conclusões deste estudo quanto ao fato de as soldas ou adesivos serem a melhor alternativa do ponto de vista ambiental.

De acordo com os argumentos de Ekvalli (2005), a alternativa de utilização de um material e sua aplicação podem ainda ser afetadas por uma mudança na disponibilidade e preço do material substituto. É razoável assumir que uma aplicação onde o custo do material substituto é mais alto que uma grande parte do custo total inviabiliza mudanças. A aplicação do material alternativo pode exigir uma quantidade grande desse material para cada unidade de produção funcional ou econômica e as consequências ambientais do uso dessa alternativa podem ser mais significativas que as consequências ambientais da utilização do material substituto.

Okamoto, (2005), avalia a substituição do chumbo por antimônio, bismuto, prata, cobre, índio e zinco e recomenda a utilização das soldas livres de chumbo:

Nós recomendamos as ligas de solda SAC e SnCu como as melhores soluções no estado presente. Isto é, os resultados destas soldas ainda são melhores, embora exista problema com a escassez da Ag e Sn.

Os resultados de suas pesquisas recomendam as ligas SAC para substituir o SnPb pelos seguintes aspectos da Tabela 2:

1. O antimônio é mais tóxico que o chumbo, logo, não é candidato a substituto;
2. Embora as soldas SAC sejam a melhor solução, será necessário o desenho de um sistema de reciclagem da Ag e Sn para reciclagem dos seus resíduos;
3. O índio e o cobre, assim como o bismuto apresentam baixa resistência ao calor e são materiais em alto declínio na mineração;
4. O zinco apresenta problemas no processo de soldagem e necessitando de sistema para reciclagem dos seus resíduos.

Tabela 2. Resultados integrados dos impactos ambientais dos vários tipos de soldas livres de chumbo.

Tipos de soldas	Soldagem	Toxidade	Uso de recursos	Avaliação total Impacto	Comentários
SnSb SACSB	○	✗	○	✗	Sb mais tóxico que o Pb. Evitar o uso da Solda c/ Sb
SAC SnCu	○	○	△	①	Melhor solução na atual situação
SnAgInCu(Bi)	○	○	✗	△	Recurso em decline severo Componentes com baixa resistência ao calor Utilização prática para alguns produtos
SnZn(Bi)	△	○	○	○	Impossibilitado de ser utilizado em máquinas Wave possibilidade de aumento do consumo devido às suas características de boa soldagem.

Fonte: Okamoto, (2005).

Legenda:

- ✗ - Evitar o (Sb) devido à sua toxicidade ser maior que a do Pb.
- - possibilidade de aumento do consumo devido suas características de boa soldagem.
- △ - Recurso em declive, componentes com baixa resistência ao calor.
- ① - Melhor situação tecnológica atual.

Sacolof (2005) apresenta resultado de ACV que somente permite a análise individual de cada solda, servindo apenas para orientação de melhorias no produto. A autora relata que, à medida que cada categoria tem impacto em uma escala diferente, uma pontuação do impacto real não pode ser comparada diretamente. No entanto, cada categoria de impacto pode ser avaliada individualmente para um determinado tipo de solda para ajudar na identificação das áreas para melhorias no produto. Foram avaliadas dezesseis categorias de impacto:

1. Recurso não renovável;
2. Recurso renovável;
3. A utilização da energia;
4. O aquecimento global;
5. Empobrecimento da camada de ozônio;
6. Acidificação do ar;
7. Nevoeiro fotoquímico;
8. Particulados no ar;
9. Eutrofização da água;
10. Qualidade da água: demanda biológica de oxigênio;

11. Sólidos suspensos totais;
12. Uso espacial de aterro;
13. Câncer ocupacional;
14. Doenças ocupacionais crônicas não cancerosas;
15. Saúde Pública;
16. Doenças crônicas não cancerosas no público.

Os resultados revelam que a solda de SnPb tem o maior indicador de impacto em quatro categorias. Já as soldas livres de chumbo têm o maior indicador de impacto nas doze categorias restantes, relativamente a: recursos não renováveis e renováveis, utilização de energia elétrica e GLP, uso espacial de aterros, aquecimento global, camada de ozônio, nevoeiro fotoquímico, acidificação, particulados no ar, qualidade da água, contaminação pública e causa de câncer. As soldas SnPb têm o menor indicador de impacto, entre as ligas em cinco categorias de impacto, incluindo a utilização de energia, aquecimento global, nevoeiro fotoquímico, a acidificação e particulados no ar. A solda SnCu tem os indicadores mais baixos nas onze categorias restantes.

Ao avaliar as alternativas sem chumbo isoladamente, sem considerarmos a SnPb, a liga SnCu tem a menor pontuação de impacto do ciclo de vida em todas as categorias em estudo e a liga SAC possui a mais elevada pontuação em todas as categorias.

Mang (2005) preocupa-se com a conscientização dos gestores da indústria eletrônica. Segundo este autor, os avanços da indústria eletrônica e da tecnologia verde são atualmente tópicos emergentes e têm significado muito importante para o desenvolvimento de produtos com valor agregado, tanto para a indústria eletrônica quanto para a da informação, contribuindo para construção de uma sociedade da informação consciente quanto aos aspectos da reciclagem. A informação e a reciclagem são fatores chave para resolver a poluição decorrente dos resíduos de produtos eletrônicos.

Pitts (1996) salienta a conscientização dos usuários quanto às questões do descarte de produtos em fim de vida. O autor sugere que se o público apresentar cada vez maior interesse pelos resíduos eletrônicos e a melhor utilização de produtos no fim-de-vida, a consciência ambiental por parte do fabricante pode muito bem se tornar uma necessidade de marketing do produto. Segundo este autor, não se pode esquecer da responsabilidade daqueles que projetam novos produtos, quanto à concepção de produtos de fácil desmontagem e destinação de suas partes componentes, devendo tornar-se requisito sujeito à divulgação das peças utilizadas, assim como das partes descartadas após o uso, destinadas à remanufatura ou recuperação do material base. A simples declaração de um menor consumo de energia elétrica pode aumentar as vendas; o mesmo deve acontecer com uma declaração com a destinação dos componentes após o uso, passivos de

reciclagem de produtos em fim de vida de forma total. Pitts (1996) observa que os gestores podem construir sobre o sucesso da substituição do chumbo e que podem expandir sua ação para outras substâncias utilizadas na indústria que enfrentam proibições de leis semelhantes.

Outro aspecto a ser considerado é da importância da concepção de processos no desenvolvimento sustentável, que só será permitido através da conscientização dos empresários, o que, segundo Seiffert, (2005):

A Engenharia de Sistemas deve incorporar ao desenho conceitual de processos produtivos a ideia de diminuição do impacto ambiental associado à racionalização do uso de todas as matérias-primas e insumos no processo de produção, incorporando os princípios da produção limpa ao processo de normalização. Prevenir a geração de resíduos sólidos, ainda que somente visando o cumprimento da legislação, pode ter um significativo impacto na eficiência de um processo de identificação de perdas, e assim, no aumento de ganhos.

Finalmente, pode-se citar, ainda, pesquisas voltadas ao uso das soldas livres de chumbo. As pesquisas de Thornton (2008) apontam problemas sérios no que concerne à substituição do chumbo nas soldas, que levam a falhas em componentes eletrônicos para a indústria automotiva, aeronáutica e hospitalar. Segundo ele, nenhum substituto tecnicamente à altura das soldas tradicionais, feitas com ligas de chumbo, foi encontrado até agora. Um dos maiores problemas está nos chamados "bigodes de estanho", que crescem a partir dos pontos de solda e que já foram responsáveis por falhas em satélites artificiais, com enormes prejuízos.

3.2. Logística Reversa

No caso da utilização de recursos não renováveis, nesse caso os metais, a logística reversa passa a ter grande importância. A logística reversa nada mais é que o resultado de negociação entre as partes, negociação essa para manutenção de um ciclo fechado, vantajoso para as partes interessadas, seja no caso da empresa em estudo produtoras de ligas das soldas em questão, assim como seus clientes, sociedade, meio ambiente e órgãos reguladores. Muitas vezes esse processo que aparentemente só envolve o transporte físico de metais têm causado transtornos enormes nas recuperadoras, como no caso da Cast, pois os clientes por desconhecerem estas tecnologias livres de chumbo, utilizam componentes com chumbo para manufatura de suas placas eletrônicas, causando contaminação pelo chumbo em seus cadinhos e banhos de soldas. O mesmo ocorre quando os clientes, utilizando soldas para fixar os componentes às placas de circuito impressos, com as ligas à base de estanho e chumbo, utilizando componentes livres de chumbo,

contaminam com a prata os banhos das soldas, aumentando com isso os custos da recuperação, visto que a liga somente entrará na especificação com a adição de estanho, até que a prata entre no limite da especificação da liga por ele solicitada. Daí a importância de a logística ir muito além de uma simples embalagem; é sim uma questão de consciência, que precisa urgentemente despertar para as questões ecológicas, quanto aos resíduos, seu tratamento e recuperação em ciclos fechados, para redução de custos e minimização dos trabalhos gratuitos executados pela natureza.

Para Christopher, (1997) logística é conceituada da seguinte maneira:

A logística é o processo de gerenciar estrategicamente a aquisição, movimentação e armazenagem de materiais, através da organização e seus canais de marketing de modo a poder maximizar a lucratividade presente e futura através do atendimento de pedidos a baixo custo [...], tem como missão planejar e coordenar todas as atividades necessárias para alcançar níveis desejáveis dos serviços e qualidade ao custo mais baixo possível.

Portanto, a logística deve ser vista como um elo entre o mercado e a atividade operacional da empresa. O raio de ação da logística estende-se sobre toda a organização e o gerenciamento de matérias-primas, chegando até a entrega do produto final, e a destinação após o uso.

Segundo Dias, (1993), logística industrial tem como objetivos:

A coordenação do movimento de estoques de matéria-prima para que os níveis de estoque e capital emprado sejam reduzidos ao mínimo (...) Minimizar as flutuações crônicas do volume de produção e desta forma reduzir a possibilidade de problemas no fluxo de caixa.

Certamente, a ausência de um sistema logístico em uma cadeia industrial levará à ocorrência contínua de problemas significativos para cada indústria que compõe o sistema de fornecimento.

Salientando ainda mais a importância da logística empresarial, Ballou (1993) cita:

O impacto do projeto do sistema logístico na contribuição para a receita e o custo do projeto do sistema logístico dependem dos profissionais de logística, que deveriam saber perfeitamente, qual a receita adicional que deveria ser gerada através de melhorias incrementais na qualidade dos serviços prestados ao cliente.

Ainda segundo Leite (2003, p.16):

A Logística Reversa é conceitualmente a área da Logística Industrial que tem a preocupação com os aspectos logísticos do retorno ao ciclo produtivo dos produtos, materiais e embalagens, ou seja, existe também um fluxo logístico reverso, do ponto de consumo até o ponto de origem, que precisa

ser gerenciado: [...] entendemos a logística reversa como a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros.

3.3. A emergia aplicada a sistemas industriais

Não há ainda na literatura muitos estudos que tratam da aplicação da síntese em emergia em sistemas de manufatura ou produção industrial.

Giannetti e colaboradores (2008) relatam as medidas tomadas em uma empresa de médio porte fabricante de semijoias, a fim de reduzir os resíduos e a poluição. As alterações introduzidas são descritas, bem como os principais fatores que afetam a relação custo-eficácia e os benefícios adicionais obtidos. As intervenções de produção mais limpa (P+L), visando a melhoria do desempenho ambiental da empresa, são descritas e relacionadas com benefícios econômicos. Utilizando indicadores de desempenho de escala local, quantifica-se a economia de material por quilograma de peça produzida. Os resultados são complementados com a utilização de indicadores de desempenho global (Intensidade Material e Emergia), que avaliam o desempenho ambiental do sistema sobre a biosfera.

Wang et al. (2005) aplicam a síntese em emergia para avaliar um parque ecoindustrial provido de uma planta de geração de energia. Considerando a circulação de material e a utilização em cascata da energia, estes autores definiram um novo indicador de sustentabilidade (PESI) para um ecossistema industrial que considera a razão entre o rendimento em emergia (PEYR) e a carga ambiental (PELR). No cálculo de PEYR e PELR são descontados todos os ganhos obtidos, como a economia em energia elétrica, ou em recursos renováveis devidos às interligações entre as diversas empresas do parque ecoindustrial.

Uma análise termodinâmica da utilização sustentável dos recursos, na província de Modena, centrando a atenção sobre o distrito de Sassuolo é apresentada por Bastianoni e colaboradores (2001). Diferentes tipos de fábricas para a produção de cerâmica são comparadas, o que representa uma boa amostra de diferentes métodos de produção da região. A síntese em emergia mostra que o distrito de Sassuolo apresenta um enorme consumo de recursos primários não renováveis, importados e locais.

Produtos e serviços ecológicos são indispensáveis para qualquer atividade industrial, econômica ou social na terra. Exemplos de produtos ecológicos incluem carvão, madeira, água e oxigênio atmosférico, enquanto serviços ambientais incluem chuva, sequestro de carbono e diminuição da poluição. Alguns estudos propõem quantificar o uso dos serviços ambientais com a síntese em emergia (Bakshi, 2000; Ulgiati e Brown, 2002).

Bakshi (2000) introduziu um método de análise de emergia para sistemas industriais, onde o tratamento de resíduos foi considerado. O autor considera que as entradas diretas para a indústria incluem recursos renováveis, não renováveis e entradas da economia. As entradas da economia representam recursos que são valorados pela economia e que são parte do mercado. As saídas incluem os produtos principais que são vendidos no mercado e emissões que retornam para o meio ambiente. As emissões podem requerer emergia para minimizar seus efeitos no meio ambiente. Isto pode ser feito por diluição ou degradação das emissões para um estado de concentração adequado e a emergia pode ser derivada de recursos ecológicos ou econômicos. Bakshi (2000) propôs uma forma de avaliação do impacto das emissões utilizando a síntese em emergia, que separa os fluxos de emergia dos serviços renováveis do ecossistema que são utilizados para tratar as emissões e os fluxos da economia empregados no tratamento dos efluentes. A emergia dos serviços ambientais é determinada em função do conhecimento da concentração e natureza das emissões.

3.4. A emergia associada ao impacto no ambiente e na saúde humana

Finalmente, encontrou-se apenas 5 artigos que tratam do impacto das emissões nos ecossistemas e na saúde humana (Ulgiati e Brown, 2002; Genoni, 2003; Tiezzi e colaboradores, 1996; Genoni, 2003; Ukidwe e Bakshi, 2004; Xiaohong Zhang e colaboradores, 2009). Ulgiati e Brown (2002) sugerem um método quantitativo para a avaliação dos serviços ambientais necessários para efetivamente absorver ou diluir subprodutos e emissões em diferentes escalas de tempo e espaço. Neste caso, são contabilizados os serviços do meio ambiente para absorver ou diluir os resíduos gasosos dos sistemas analisados.

Tiezzi et al. (1996) realizaram um estudo referente ao tempo de permanência do CO₂ na atmosfera em função do tipo de combustível utilizado (bioetanol, óleo, metano, carvão e madeira). No estudo, foi calculada a emergia reirradiada pelos Gases do Efeito Estufa (GEE) gerados na queima de carbono para geração de energia. Desta forma, pode-se adicionar à emergia total do sistema aquela associada ao trabalho da natureza para reequilibrar o sistema, associado à manutenção da temperatura do planeta.

Genoni et al. 2003 contabilizaram todos os fluxos de energia para o rio Steina e calcularam a transformidade de diversos nutrientes e poluentes. Os autores indicam que são muitos os poluentes existentes, sendo alguns elementos essenciais em determinadas quantidades e outros prejudiciais até em pequenas doses.

Ukidwe e Bakshi (2004) consideram o impacto das emissões nos ecossistemas, mas principalmente o impacto das emissões à saúde humana. É ressaltado o impacto das

emissões medido através do DALY (Disability Adjusted Life Years), desenvolvida pela Organização Mundial de Saúde, que reflete a influência do poluente sobre os anos de vida em que as pessoas estarão impossibilitadas de trabalhar devido à sua emissão ou a morte prematura por exposição a este poluente.

Zhang e colaboradores (2009) utilizam a mesma abordagem e compararam as emissões industriais que afetam a saúde humana. O impacto depende do destino do contaminante no ambiente natural e seu efeito no bem-estar humano. Em alguns casos, considerando que o destino depende de numerosos fenômenos físico-químicos, como dispersão e difusão na atmosfera, os autores utilizam a abordagem proposta por Ulgiati e Brown (2002).

Filho (2000) argumenta:

Vários dos pressupostos para cálculo do DALY podem bem violar julgamentos éticos. [...] Em particular, simplesmente somar dalys em indivíduos implica tratar a perda da vida inteira de uma pessoa como a mesma coisa que a perda de um dia de cada um. [...] Se isto faz sentido ou não, não é um problema matemático dado que as suas implicações são debitadas inteiramente às leis da adição. [...] Temos bons motivos para ligar com dinheiro dessa maneira, porém a extensão desse método para comparar as vidas de indivíduos que vivem em momentos diferentes é obviamente mais problemático.

Miraglia e colaboradores (2005), que utilizam o DALY para avaliar o impacto da poluição na cidade de São Paulo, salientam que em países em desenvolvimento a pesquisa adicional deve ser conduzida em ordem para avaliar o efeito adverso da poluição do ar na classe de idade produtiva e a inaptidão exata provocada esta poluição. Os autores ressaltam que, considerando a ausência de efetivas medidas governamentais, este quadro tende a piorar e que as medidas que mitigam os impactos causados pela poluição veicular devem ser urgentes.

As vantagens principais da técnica de DALY consistem da possibilidade de comparação com outras estimativas, inclusive doenças diferentes e estimativas realizadas em outros países. Há, também, a possibilidade de converter anos de vida em termos de despesas com internações ou perda de renda devido à incapacidade adquirida. As limitações principais estão na ausência de dados de morbidez que normalmente resulta em uma estimativa menor do DALY real.

4. Apresentação da empresa em estudo e da primeira avaliação ambiental efetuada

A Cast Metais e Soldas Ltda. foi fundada em 23 de agosto de 1999 por uma equipe de profissionais com décadas de experiência nos setores de fundição e produção de ligas de

estanho. A empresa fabrica a mais completa linha de soldas em anodos, barras, vergas, fios sólidos, fios com resina, fios com fluxo *no-clean*, nas mais variadas formas, bitolas e diâmetros. Também produz e comercializa fluxos e diluentes para decapagem de placas de computadores e outras, cera para proteção de banhos de solda, desoxidantes, removedores e protetores temporários de látex, especialmente para as indústrias eletroeletrônicas, de telefonia, comunicações, construção civil e metalúrgica. Equipada com avançado laboratório químico, está sediada na Rua Manger, 115, Jordanópolis, São Bernardo do Campo, S.P., CEP: 09695-120 – e-mail: vendas@castmetais.com.br e tel. / fax (0xx11) 4362 1955.

A Cast apresenta seu layout estruturado por processos, conforme apresenta a Figura 2. Os principais produtos da empresa são apresentados na Tabela 3.



Figura 2. Vista da fábrica.

Tabela 3. Principais Produtos da empresa em estudo.

SOLDAS	PRODUTOS AUXILIARES
Estanho Puro	Fluxos Resinosos, No Clean e Hidrossolúveis.
Estanho X Zinco	Diluentes e Removedores
Estanho X Antimônio	Pasta para Soldar
Estanho em Anodos	Save Chip (Liga metálica dessoldadora)
Estanho X Chumbo	Látex Pillow (Máscara temporária de proteção)
Estanho X Cobre X Prata (Livre de chumbo)	Dexsol (Desoxidante para banhos de solda)
Solda em Pasta	Cera Castwax (Desoxidante para banhos de solda)
Metal Patente	Alucast (Fluxo corrosivo para Al)
Vergas e fios	
Esféricos e placas	
Esféricos, placas, fios, vergas, drágeas e barras.	
Barras e fios	
Potes de 500g	
Lingotes	

Fonte: Cast Metais e Soldas Ltda.

Todos os insumos agregados aos produtos da Cast são submetidos a ensaios de recebimento da matéria-prima, passando por inspeções e ensaios durante os processos de

manufatura e inspeção final de composição das ligas. Todo material é analisado e certificado quanto à sua composição química por espectroscopia de absorção atômica.

A quantidade produzida dos diversos tipos de solda da Cast metais nos anos de 2006 e 2007 pode ser observada na Tabela 4.

Tabela 4. Média da produção de solda da empresa em 2006/ 2007.

Tipo de liga	Massa / (g/ano)	% (ton/ ton)	tipo
LIGAS COM CHUMBO			
Sn/ Pb (Outras Ligas)	1,80E+08	60,44%	Barras + fios + vergas + Anodos + placas
63Sn/ 37Pb	9,39E+07	31,47%	Barras + vergas + anodos
LIGAS LIVRES DE CHUMBO			
96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu	6,88E+06	2,30%	Barras + vergas
99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu	3,48E+07	11,66%	Barras + vergas
Total	3,16E+08		

Fonte: Cast Metais e Soldas Ltda.

A produção de solda divide-se em cerca de 90% em soldas SnPb e 10% para as soldas livres de chumbo, entre elas as constituídas por SAC, que são produzidas de acordo com a demanda do mercado nacional.

O crescimento do consumo do estanho com o aquecimento do mercado produtor chinês vem causando flutuações nos preços do estanho e outros metais, conforme Tabela 5. Para o empresário, as flutuações de preço justificam o envio de embalagens para a recuperação de borra e a aplicação dos conceitos da Logística Reversa. Porém, cabe salientar que, muitas vezes, os clientes não aceitam os custos adicionais da recuperação. Desta forma, esses clientes provocam os desvios da liga, causando transtorno para o processo de reciclagem, além do aumento de consumo de estanho, o que não só aumenta seu custo, como também prejudica a natureza, através dos impactos da mineração.

Tabela 5. Variação do preço da tonelada de estanho nos últimos quatro anos.

	outubro 2005	outubro 2006	outubro 2007	outubro 2008	março 2009
(US\$/ton)	6.486,00	10.225,00	16.675,00	14.245,00	11.039,25
Dólar médio	2,2536	2,1456	1,7552	2,1961	2,4218

Fonte: <http://www.shockmetais.com.br/index.php/lme> - 3 de março 2009.

No decorrer dos últimos anos, observou-se uma baixa preocupação com a logística reversa por parte dos usuários de soldas brandas, pois as embalagens para acondicionamento da borra, fornecidas pelos produtores e recuperadores, que obrigariam, em tese, que os clientes mantivessem o ciclo fechado, muitas vezes não retornam conforme o planejado; daí a procura por material (sucata) no mercado.

Tabela 6. Formulário para primeira avaliação de aspectos e impactos da Cast Metais e Soldas

A empresa obteve a certificação pela Norma ISO9001: 2000, em setembro de 2006, passando a partir dessa data a adaptar seus processos para que os mesmos atendessem à norma ISO14001: 2004 – SGA – Sistema de Gestão Ambiental.

Procedeu-se a uma análise formal de aspecto e impacto ambiental, conforme exigido pela ISO 14001:2004 em seu item 4.3.1 – Aspectos ambientais. Para tanto, foi elaborado o procedimento de avaliação de aspectos e impactos ambientais e requisitos legais, que prevê o preenchimento do registro de avaliação de aspectos e impactos, conforme Tabela 11. A falta deste procedimento, assim como a não emissão do registro de análise inicial do Sistema de Gestão Ambiental, segundo as normas ISO 14001:2004, implica na não certificação da empresa.

4.1 Avaliação inicial global

O posicionamento atual da empresa em relação aos aspectos ambientais, segurança e saúde ocupacional foi determinado por meio de uma avaliação inicial global (Tabela 6). Esta avaliação, que incluiu as operações normais e anormais da organização, bem como as potenciais condições de emergência, levou em consideração os seguintes aspectos:

- a) Produtos de risco (inventário);
- b) Riscos potenciais;
- c) Identificação dos requisitos legais e regulamentares;
- d) Identificação dos aspectos ambientais significativos;
- e) Exame de todas as práticas e procedimentos do sistema de gestão de segurança, saúde ocupacional e meio ambiente; avaliação das informações provenientes de investigações de acidentes/incidentes anteriores.

Primeiramente, foi estabelecida a área de abrangência da avaliação, assim como as interfaces com outros ambientes e outras partes interessadas (órgãos públicos). Foram coletados dados preliminares referentes ao processo avaliado. O "Inventário Ambiental" incluiu:

- matérias - primas químicas e materiais auxiliares de risco;
- efluentes líquidos e gasosos;
- resíduos sólidos;
- produtos intermediários/subprodutos e produtos acabados;
- recursos naturais consumidos (água, eletricidade, combustíveis, gás, etc.).

Todos os documentos e registros gerados neste levantamento foram retidos para auditoria, como memorial descritivo.

Ltda.

AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS																					
	ASPECTO	(*) N / A / E	IMPACTO										(**) GRAU SIGNIFICÂNCIA	CONTROLE(S) OPERACIONAL(IS) EXISTENTE(S) e/ou OBJETIVO/META							
			AMBIENTE DE INTERAÇÃO: (X) Aplicável e (-) Não Aplicável																		
			Polução Água Superf.	Polução Água Subterrânea	Polução Ar	Polução Solo	Escassez de R. Naturais.	Danos Fauna	Danos Flora	Danos à Saúde Humana	Ruído	Destruição C. Ozônio	Efeito Estufa	Incêndio/Explosão	Odor	Outros	Probabilidade	Gravidade	Significância	ITEM DE LEGISLAÇÃO (S/N)?	RELAÇÃO COM A POLÍTICA (**1/2/3/4)
1	Consumo de água (m3)																				
2	(Consumo de energia elétrica kW/h)																				
3	Consumo de Gás GLP (kg)																				
4	Descarte de papel e papelão (kg)																				
5	Descarte de componentes mecânicos de equipamentos (kg)																				
6	Descarte de copos plásticos (kg)																				
7	Descarte de componentes elétricos de equipamentos (kg)																				
8	Descarte de equipamentos obsoletos (kg)																				
9	Descarte de papel higiênico (kg)																				
10	Descarte de panos de limpeza (kg)																				
11	Descarte de pilhas e baterias (Unidades)																				
12	Descarte de lâmpadas (Unidades)																				
13	Borras de Estanho (Sn X Pb; Sn X Cu; Sn X Ag; Sn X Zn; Sn X Sb) - (ton).																				
(*) Situação na Avaliação do Aspecto:		(**) Grau de Significância										(***) Itens relacionados à Política:									
N – condição normal de operação A – condição anormal de operação E – condição de emergência		probabilidade: Alta (3), Média (2) e Baixa (1) – (ver tabela 7). Gravidade: Alta (3), Média (2) e Baixa (1) - (ver tabela 8) Significância = probabilidade x Gravidade: Alta (6-9), Média (3-5) e Baixa (1-2),, ver tabela 9										Prevenção da Poluição, Conservação de Recursos Naturais Redução de Resíduos Preservação da Segurança e Saúde									

Foram identificados os aspectos ambientais associados à atividade baseando-se nos dados e documentos disponibilizados pela empresa. No levantamento dos aspectos foram levadas em consideração e identificadas as condições de operação normal, anormal e os acidentes, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7. Definição das condições de operação.

Condições de operação	Definição
Normais	Aquelas condições estabelecidas como esperadas quanto à produtividade, qualidade e segurança, inclusive durante paradas e partidas programadas de unidade
Anormais	Aquelas condições de baixa ou alta produção, ou ainda de paradas e partidas não programadas, onde consumos, perdas ou poluição, novos ou com níveis além dos aceitáveis, existam ou possam existir.
Emergência	Aquela condição potencial em que um acidente virtualmente ocorre ou tem chance razoável de ocorrer.

Após identificar o maior número possível de impactos ambientais reais e potenciais, positivos e negativos, associados a cada aspecto identificado (itens 1 a 13 da tabela 6), definiu-se o grau de significância da probabilidade de Ocorrência de Impacto de acordo com os critérios apresentados na tabela 8 e da Gravidade do Impacto (tabela 9) que é utilizada para a votação da equipe de gestão do sistema.

Após a definição da probabilidade de Ocorrência de Impacto e da Gravidade do Impacto, determinou-se o Grau de Significância de acordo com o critério apresentado na tabela 10, que representa o grau em que a combinação da probabilidade se correlaciona, positivamente ou não, com a Gravidade do Impacto. Determinou-se, assim, por votação, o número que melhor representa a correlação entre a probabilidade da ocorrência do impacto com a gravidade do efeito do mesmo.

Tabela 8. probabilidade de Ocorrência de Impacto

Grau de significância		Descrição
Alta	(3)	Há registros de ocorrência constante ou potencial de ocorrência constante (novos equipamento/ atividades).
Média	(2)	Há registros de ocorrência esporádica ou potencial de ocorrência esporádica (novos equipamentos/ atividades).
Baixa	(1)	Não existem registros.

Tabela 11. Resultados da Primeira Avaliação de Aspectos e Impactos da Cast Metais e Soldas Ltda.

Tabela 9. Gravidade do Impacto

GRAU	QUANTO À SEVERIDADE	QUANTO À REVERSIBILIDADE	IMAGEM DA EMPRESA	QUANTO À VISÃO DAS PARTES EXTERNAS INTERESSADAS	QUANTO À DETECÇÃO
3	Morte ou lesão permanente ou temporária; vazamentos externos com possibilidade de controle; escassez de recursos naturais que comprometa a continuidade dos processos atuais; perda total ou de pelo menos 5 dias do equipamento/instalação. Pode ocorrer que a área ou um grande número de seres vivos no local sejam atingidos e não há meios de descontaminar o local antes de causar danos.	Evento cujas ações corretivas são complexas ou demoradas ou difíceis de serem executadas, colaborando, assim, para o agravamento do impacto, podendo controlá-lo ou revertê-lo.	Evento que pode chegar até o meio externo, comprometendo a imagem da empresa.	Evento que afeta ou tem envolvimento direto com as partes interessadas (comunidade ou empresa vizinha, ONGs, órgãos públicos, etc.).	Se a detecção é incerta, com meios de detecção e controle inexistentes ou inadequados.
2	Lesões moderadas; danos moderados a equipamentos que levem mais de 5 dias para restabelecer; vazamento com contenção interna à fábrica; Pode ocorrer que a área ou seres vivos sejam atingidos, mas há meios de descontaminar o local, ao menos parcialmente, evitando causar maiores danos.	Evento cujas ações corretivas podem ser tomadas em curto prazo (24 h), sem maiores problemas.	Evento que pode gerar descontentamento ou desmotivação de funcionários internos.	Evento que pode ser percebido mas não afeta diretamente as partes interessadas.	Se a detecção é provável e indireta, com meios de detecção e controle existentes, mas de eficácia limitada.
1	Ausência de lesões: sem danos ou então insignificantes a equipamentos. Não há seres vivos no local que venham a ser afetados; a área de abrangência é pequena ou há meios de descontaminar o local.	Ações imediatas e rápidas que revertem ou controlam o impacto ambiental.	Não é comprometida, tanto interna como externamente.	Não afeta as partes interessadas.	Se a detecção é certa e direta, com meios de detecção e controle sistemáticos e eficazes.

Tabela 10. Grau de Significância = probabilidade X Gravidade

		PROBABILIDADE		
		(3) ALTA	(2) MÉDIA	(1) BAIXA
GRAVIDADE	(3) ALTA	9	6	3
	(2) MÉDIA	6	4	2
	(1) BAIXA	3	2	1

Cast Metais e Soldas Ltda.		AVALIAÇÃO DE ASPECTOS E IMPACTOS																			
ASPECTO	(T) N/A / E	IMPACTO AMBIENTE DE INTERAÇÃO: (X) Aplicável e (-) Não Aplicável												(**) GRAU SIGNIFICÂNCIA			CONTROLE(S) OPERACIONAL(ES) EXISTENTE(S) e/ou OBJETIVO/META				
		Poluição Água Superf.	Poluição Água Subterrânea.	Poluição Ar	Poluição Solo	Escassez de R. Naturais	Danos Fauna	Danos Flora	Danos à Saúde Humana	Ruído	Destruição C. Ozônio	Efeito Estufa	Incêndio/Explosão	Odor	Outros						
1	Consumo de água (m ³)	N				X										1	2	2	N	4	Objetivos e Metas
2	(Consumo de energia elétrica kW/h)	N				X										3	2	6	N	4	Objetivos e Metas
3	Consumo de Gás GLP (kg)	N				X										2	2	4	N	4	Objetivos e Metas
4	Descarte de papel e papelão (kg)	N				X										1	2	2	N	1	Coleta Seletiva
5	Descarte de componentes mecânicos de equipamentos (kg)	N				X										1	3	3	N	1	CADRI
6	Descarte de copos plásticos (kg)	N				X										1	3	3	N	1	Coleta Seletiva
7	Descarte de componentes elétricos de equipamentos (kg)	N				X										1	3	3	N	1	CADRI
8	Descarte de equipamentos obsoletos (kg)	N				X										1	2	2	N	1	Coleta Seletiva
9	Descarte de papel higiênico (kg)	N				X										1	3	3	N	1	Coleta Seletiva
10	Descarte de panos de limpeza (kg)	N				X										1	3	3	N	1	CADRI
11	Descarte de pilhas e baterias (Unidades)	N				X										1	3	3	N	1	Coleta Seletiva
12	Descarte de lâmpadas (Unidades)	N				X										1	3	3	S	1	CADRI
13	Borras de Estanho (Sn X Pb; Sn X Cu; Sn X Ag; Sn X Zn; Sn X Sb) - (ton).	N				X										1	3	3	S	1	CADRI
(*) Situação na Avaliação do Aspecto:		(**) Grau de Significância												(***) Itens relacionados à Política:							
N – condição normal de operação																					
A – condição anormal de operação		probabilidade: Alta (3), Média (2) e Baixa (1) – (ver tabela 7). Gravidade: Alta (3), Média (2) e Baixa (1) – (ver tabela 8) Significância = probabilidade x Gravidade: Alta (6-9), Média (3-5) e Baixa (1-2) – (ver tabela 9)												Prevenção da Poluição, Conservação de Recursos Naturais							
E – condição de emergência														Redução de Resíduos Preservação da Segurança e Saúde							

A Tabela 11 apresenta o grau de significância correlacionando a gravidade do impacto com a probabilidade da ocorrência do impacto e representa os resultados mais votados pelo grupo de implantação do Sistema de Gestão Ambiental.

Utilizando os critérios apresentados nas tabelas 8, 9 e 10, foram identificados os impactos classificados de acordo com o grau de significância para estabelecer metas, controles operacionais, monitoramento e medição ou planos de emergência (Tabela 11).

A partir destes resultados, foram definidos objetivos e metas para diminuição de consumo, ou providenciado o CADRI para destinação correta do efluente industrial. Foram, também, elaborados os procedimentos exigidos pela norma ISO 14001: 2004 (ver modelo de Instrução do trabalho no anexo, ANEXO 16).

Foram então realizadas reuniões dos gestores dos processos julgados relevantes, gerando a Primeira Análise de Aspectos e Impactos, conforme ANEXO 15. Definiu-se a Política de Gestão Integrada (Quadro 1) e iniciou-se o monitoramento dos processos que acabaram gerando os dados que foram utilizados para a Avaliação em Emergência.

Quadro1. Política de Gestão Integrada da Cast Metais e Soldas Ltda.

POLÍTICA DE GESTÃO INTEGRADA CAST METAIS E SOLDAS LTDA.

A Cast Metais e Soldas, atuando na área de soldas brandas, compromete-se a:

1. Garantir a satisfação dos nossos clientes com as nossas soldas, produtos auxiliares e serviços prestados;
2. Selecionar os processos, fornecedores e desenvolver nossos colaboradores;
3. Utilizar eficazmente os recursos, visando a redução de seus aspectos e impactos significativos;
4. Prevenir acidentes e a poluição, risco e incidentes associados;
5. Atender à legislação aplicável, quanto ao Meio Ambiente e a Saúde e Segurança Ocupacional e outros requisitos relacionados às nossas atividades.

Visando a Melhoria Contínua da Eficácia do Sistema de Gestão Integrada Cast.

5. METODOLOGIA

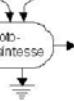
A avaliação em Emergia permite a conversão de todas as contribuições recebidas pelo sistema produtivo (metais, energia, combustíveis, dinheiro e informações em uma base única de medida): o *joule* de energia solar, representado por *sej*. Pode-se comparar os sistemas em estudo quanto à eficiência no uso dos recursos, produtividade, carga ambiental e sustentabilidade global.

Neste trabalho, se utiliza a avaliação em emergia como ferramenta de avaliação, considerando os serviços ecológicos e os da economia (Odum, 1996), para verificar o efeito da logística reversa no processo de produção das soldas 63Sn/ 37Pb, 99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu e 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu, visando auxiliar a conscientização dos clientes, fabricantes e usuários deste tipo de solda a manter o ciclo fechado de materiais e avaliar a redução do impacto imposto à natureza devido à reutilização destes materiais.

O procedimento requerido para avaliação de um sistema de produção de soldas brandas à base de estanho e chumbo e outros metais foi executado por meio do levantamento de dados e acompanhado dos processos de compra, manufatura, venda e expedição, nos anos de 2006 e 2007, seguindo os seguintes passos:

1. Conhecimento do sistema em estudo incluindo seus limites para descrição e investigação da fabricação de soldas brandas, visando a comparação das ligas 63Sn/ 37Pb, 99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu e 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu;
2. Conhecimento do contexto em que o sistema está inserido e a execução de um balanço de massa do sistema;
3. Elaboração dos diagramas de fluxos de energia; os símbolos empregados e seus significados são apresentados na Tabela 12;
4. Construção de tabelas com os dados coletados por meio da seleção adequada dos valores das transformidades (*sej/J*) ou energia por unidade (*sej/g*, *sej/US\$*, etc);
5. Discussão dos resultados obtidos para futura tomada de ação gerencial nas questões ambientais.

Tabela 12. Símbolos utilizados no diagrama de energia.

Símbolo	Descrição
	Representa uma fonte, que é um recurso externo que fornece energia ao sistema.
	Representa um depósito de energia armazenada dentro do sistema. Neste trabalho, este símbolo representa o estoque de estanho, chumbo, prata e cobre consumido nos processos de fusão das ligas.
	Representam os fluxos de energia, cuja vazão é proporcional ao volume do estoque ou à intensidade da fonte que o produz.
	O sumidouro de energia é representado por este símbolo. O sistema usa a energia potencial para produzir o trabalho. O custo desta transformação é a degradação da energia, que abandona o sistema como energia de baixa qualidade. Todos os processos da biosfera dispersam energia.
	Símbolo de interação que representa um processo, que pode ser fusão, extrusão, trefilação, bobinamento, assim por diante.
	Símbolo que representa o consumidor, ou seja, o cliente.
	Consumidor: Unidade que usa e transforma a energia, a armazena como energia de maior qualidade e retroalimenta energia (sistema autocatalítico) para melhorar o fluxo de energia que recebe.
	Interruptor: Um sistema de acionamento ou corte de um fluxo de energia de acordo com a ação de uma ou mais energias de controle.
	Produtor: Unidade que coleta e transforma energia de baixa intensidade sob a ação de um fluxo de energia de alta qualidade.
	Receptor de energia autolimitante: Uma unidade com saída autolimitada. Mesmo que forças externas sejam altas, existe um círculo interno de energia que está controlado pela presença limitada de um material de alta qualidade.
	Caixa: Símbolo de uso múltiplo que pode ser usado para representar uma unidade de consumo e produção dentro de um sistema maior. Representa um sub-sistema.
	Amplificador de ganho constante: Uma unidade que fornece uma saída proporcional a uma entrada de energia, mas que pode ser modificada por um fator de ganho, contanto que a fonte de energia S seja capaz de fornecer energia.
	Transação: Um intercâmbio de recursos. Venda de bens ou serviços (linha contínua) em troca de um pagamento em dinheiro (linha tracejada). O preço é mostrado no símbolo como fonte de energia externa.

Fonte: Odum (1996).

Para a construção das tabelas em energia das três ligas para soldagem branda, o consumo de material e energia levantado em documentos formais de aquisição foi multiplicado pela porcentagem de cada liga.

Para cada liga, as quantidades de energia elétrica (ANEXO 1, Tabela A1), gás liquefeito de petróleo (ANEXO 2, Tabela A2), de papelão e papel sulfite (ANEXO 3, Tabela A3), óleo lubrificante (ANEXO 4, Tabela A4), mão de obra (ANEXO 5, Tabelas A5 e A5a), de carretéis (ANEXO 6, tabela A6), dos panos de algodão (ANEXO 7, Tabela A7) foram calculadas pela média de consumo dos anos de 2006 e 2007.

A quantidade de ácidos utilizada para análise dos elementos de liga no Laboratório Químico foi calculada em gramas, a partir das notas fiscais de compras dos anos de 2006 e 2007, dividindo proporcionalmente pela porcentagem de cada liga (ANEXO 8, Tabela A8).

O consumo de água foi calculado a partir das contas mensais dos anos de 2006 e 2007 (ANEXO 9, Tabela A9).

As quantidades de materiais utilizados na implantação do sistema foram contabilizadas considerando-se sua vida útil (Agenda tributária e tabelas práticas, Taxas de depreciação de bens do ativo imobiliário, 2005). As quantidades de aço das máquinas e equipamentos (ANEXO 10, Tabela A10) e das chapas utilizadas para as embalagens empregadas para a logística reversa (ANEXO 11, Tabela A11) foram calculadas considerando-se sua utilização por 10 anos.

Obteve-se em campo a massa dos cadinhos de fusão e recuperação e estimou-se sua vida útil em 5 anos (ANEXO 12, Tabela A12).

O consumo de ferro das estruturas das telhas de aço zinkado foi calculado a partir da estimativa, com 10 anos de vida útil (ANEXO 13, Tabela A13).

A quantidade de concreto para construção do edifício industrial foi estimada a partir da planta baixa (ANEXO 14, Figura A14), para um pé direito médio de 4 m, considerando a utilização do edifício para 25 anos (ANEXO 14, Tabela A14).

Com a finalidade de agregar os efeitos da emissão de chumbo na fabricação das soldas de SnPb foi utilizado um indicador DALY (Disability Adjusted Life Years). Este indicador foi originalmente desenvolvido para a Organização Mundial de Saúde (OMS) e agrupa os efeitos, na saúde humana, que levam à doença ou à morte, e inclui o câncer ou morte causada por danos no aparelho respiratório (Murray e Lopez, 1996), assim como a diminuição da expectativa de vida devido à exposição a um determinado poluente. Com a finalidade de estimar o número de anos perdidos provocados por uma doença fatal, este indicador combina dados sobre a probabilidade de morte com dados de dose-resposta e exposição-resposta para cada poluente, AVP (anos de vida perdidos). O indicador também inclui o estado mórbido, isto é, os efeitos na saúde que não levam à morte imediata, mas que causam um decréscimo na qualidade de vida causado por dor ou sofrimento, AVI (anos vividos com incapacidade), Equação 1.

$$\text{DALY} = \text{AVP} + \text{AVI} \quad (1)$$

Em geral, os poluentes contribuem para o DALY com as duas parcelas, já que os efeitos da exposição a determinados poluentes causam não só a mortalidade como um período de dor e sofrimento antes da ocorrência do óbito.

Quando uma substância química é liberada no ambiente, ela encontra o seu caminho através dos compartimentos ambientais: ar, água e solo. Para onde a substância vai, e quanto tempo ela vai permanecer, depende das propriedades da substância e dos compartimentos que a recebem. As substâncias mais solúveis serão recolhidas no compartimento de água, enquanto uma substância que facilmente se liga a partículas orgânicas pode acabar em tipos específicos de solo. Outro aspecto é a degradação, já que a maioria das substâncias orgânicas têm um tempo de vida limitado. A chamada "análise de destino" modela a transferência entre os compartimentos e a degradação de substâncias. Consequentemente, as concentrações no ar, água, solo e alimentos podem ser calculadas. A Figura 3 mostra uma representação esquemática do modelo utilizado para avaliar a emissão de um poluente com relação à toxicidade humana.



Figura 3. Representação esquemática do modelo utilizado para avaliar a emissão de um poluente com relação à toxicidade humana.

Com base nas concentrações calculadas, determina-se a quantidade de uma substância a que as pessoas, plantas ou outras formas de vida são expostas e, com base nestes dados, pode-se calcular quantos anos de vida são perdidos, e quantos anos são vividos com deficiência ou perdidos por morte prematura. A análise do dano é expressa em uma unidade de dano, neste caso, o DALY.

Para calcular a emergia relativa aos danos à saúde humana ou ao número de anos que as pessoas não poderão trabalhar ou que terão morrido (C_j) devido à emissão do poluente, utiliza-se a Equação 2.

$$C_j = m_j \times \text{DALY} \times \tau \times \text{HR} \quad (2)$$

onde:

m_j = massa da substância emitida (kg)

DALY = valor referente à perda de anos de vida ou morte em função da substância emitida (anos perdidos . hab)

τ_{HR} = emergia do Brasil / número de habitantes, $1,47 \times 10^{16}$ sej/hab (Coelho et al, 2002).

O valor calculado (sej/ano) representa o custo em emergia devido à emissão do poluente, ver ANEXO 19.

6. RESULTADOS

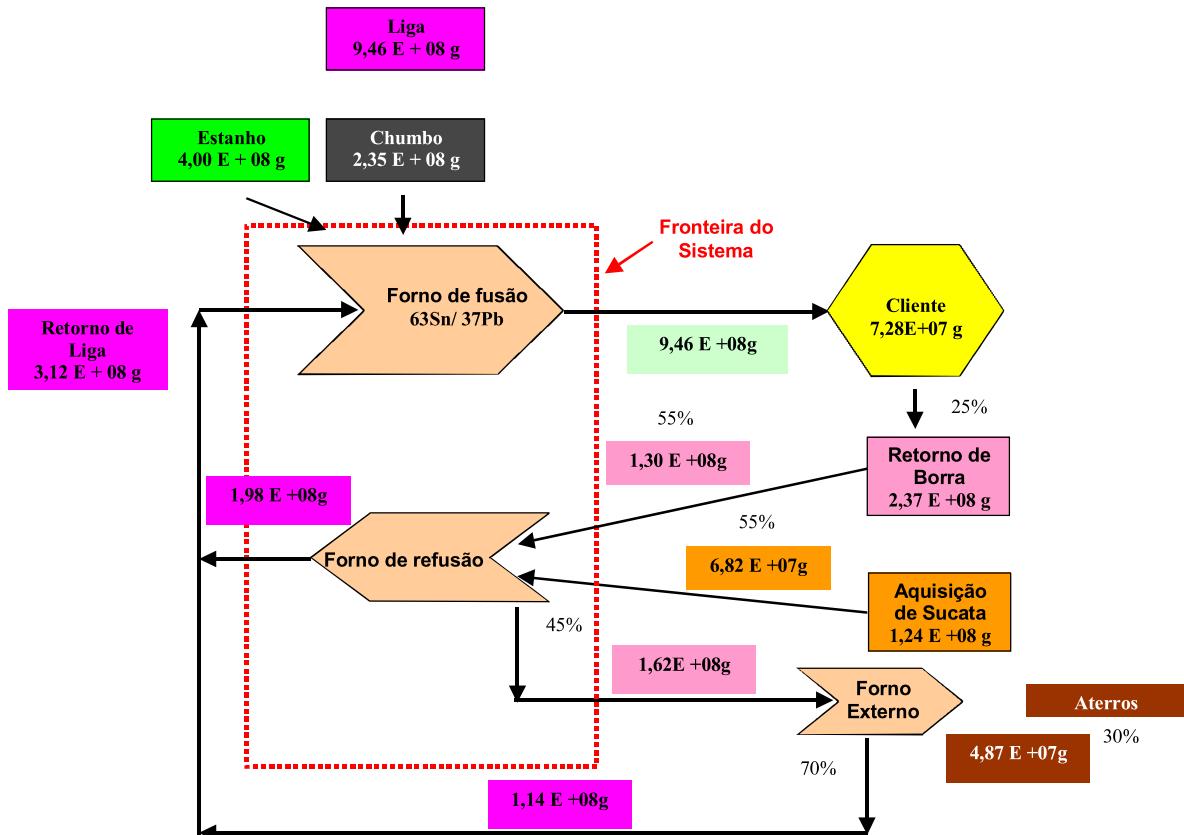
De acordo com os resultados da Primeira Avaliação de Aspectos e Impactos da Cast Metais e Soldas, apenas diminuir o consumo de energia elétrica, o GLP e outros insumos utilizados na produção de soldas já colocaria a empresa no caminho para uma produção amigável ao meio ambiente. Entretanto, este tipo de análise não se preocupa, por exemplo, com o uso de matéria-prima (ou com a escassez dos recursos naturais não renováveis utilizados para a

produção com “as boas práticas de produção”, detectando desperdícios e o mau uso de materiais e energia, não há como decidir se é melhor usar ligas com chumbo ou sem chumbo de acordo com os resultados obtidos.

Foram iniciados estudos quanto à avaliação em emergia, Odum, (1996), com o intuito de fornecer aos gestores uma métrica única que permita a tomada de decisão com base em uma visão sistêmica que leva em consideração todos os trabalhos da natureza, o uso de matérias-primas, de insumos de operação e, também, do uso de energia e materiais na manutenção da infraestrutura da empresa.

Na investigação do sistema de fabricação de soldas brandas à base de estanho foram definidos os limites do processo onde a produção é executada, as suas interfaces, e quais são as fontes de energia e recursos utilizadas para o funcionamento do sistema e sua produtividade. Nesta fase, são apresentados os balanços de massa da produção da solda de 63Sn/37Pb, assim como das ligas 99Sn/0,3Ag/0,7Cu e 96,5Sn/3Ag/0,5Cu nos anos de 2006 e 2007. Apresenta-se, também, os diagramas de energia para as três ligas e são quantificados os recursos envolvidos no sistema.

Para a produção de 946 t de solda 63Sn/37Pb, 23,7 t retornaram dos clientes, na forma de borra, representando 25% de total produzido. Foram captados no mercado 12,4 t de sucata. O processo de recuperação interno tem um rendimento médio de 55% e recupera a borra dos clientes e a sucata adquirida num total de 16,2 t. Os 45% restantes são encaminhados a tratamento externo, em fornecedor homologado pela CETESB, gerando um retorno de liga 63Sn/37Pb de 31,2 t, conforme Figura 4.



Legenda

- Média da quantidade de Liga da Solda 63Sn/ 37 Pb produzida nos anos de 2006 e 2007, incluindo retornos dos processos de recuperação.
- Quantidade de estanho na composição da liga.
- Quantidade de chumbo na composição da liga.
- Quantidade fornecida de solda 63Sn/ 37 Pb nos anos de 2006 e 2007.
- Processo do cliente.
- Fornos de fusão.
- Retorno de borra dos clientes e dos fornos de refusão.
- Aquisição de sucata no mercado.
- Efluentes destinados a aterros sanitários homologados.
- Fronteira do sistema produtivo da empresa em estudo.

Figura 4. Fluxograma de massa para a Liga 63Sn/37Pb.

Para a produção da solda 96,5Sn/3Ag/0,5Cu de 13,7 toneladas, 4,11 t retornaram dos clientes na forma de borra, representando 30% da produção de solda. Foram captados no mercado 0,415 t de sucata (Figura 5).

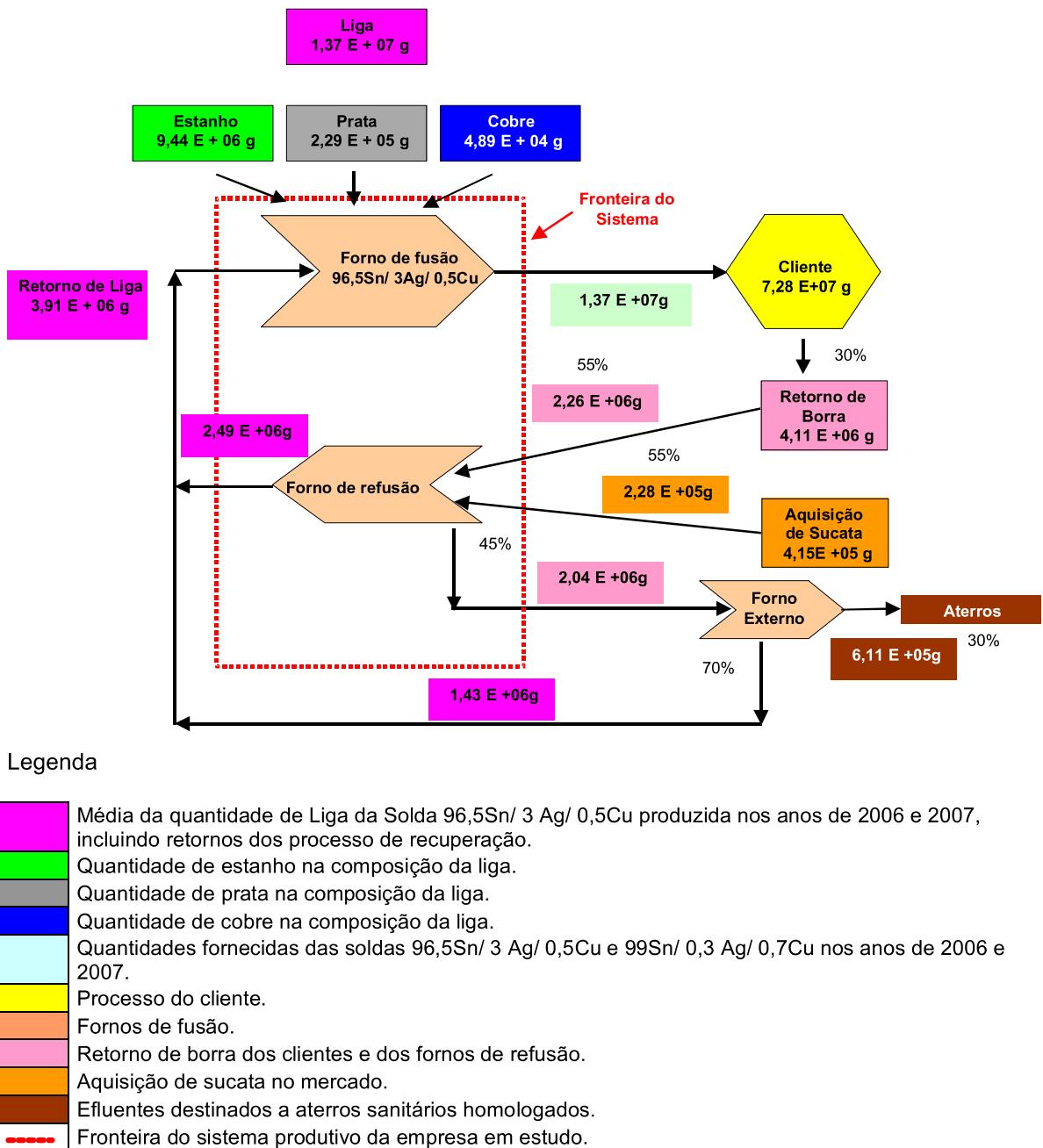


Figura 5. Fluxograma de massa para a Liga 96,5 Sn/3 Ag/0,5 Cu.

O processo de recuperação interno tem um rendimento médio de 55% e recupera a borra dos clientes e a sucata adquirida, num total de 2,49 t. Os 45% restantes são encaminhados a tratamento externo, em fornecedor homologado pela CETESB, gerando um retorno de liga 96,5Sn/3Ag/0,5Cu de 3,91 t (Figura 5).

Para a produção de 72,8 toneladas de solda 99Sn/0,3Ag/0,7Cu, há um retorno de 30% dos clientes, representando 21,8 t. Foram captados no mercado 1,79 t de sucata. O processo de recuperação interno tem um rendimento médio de 55% e recupera a borra dos clientes e a sucata adquirida num total de 1,30 t. Os 45% restantes são encaminhados a tratamento

externo, em fornecedor homologado pela CETESB, gerando um retorno de liga 99Sn/0,3Ag/0,7Cu de 20,4 t (Figura 6).

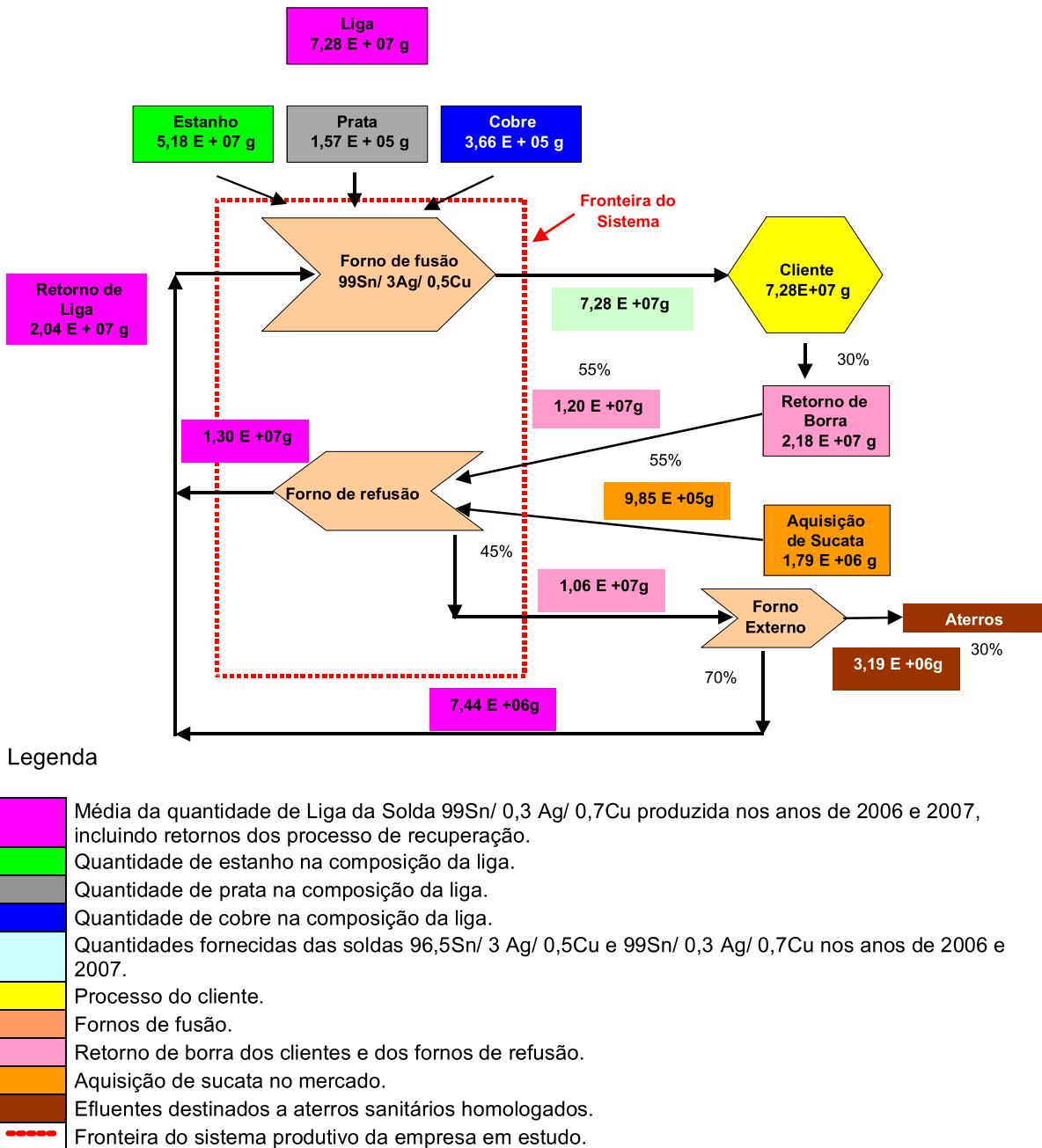


Figura 6. Fluxograma de massa para a Liga 99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu.

A Figura 7 apresenta o diagrama de fluxos de energia para as três ligas, em que os metais de liga podem ser chumbo ou prata e cobre (em diferentes proporções). Para construção deste diagrama, foi utilizada a metodologia proposta por Odum (1996). Todos os fluxos que cruzam as fronteiras do sistema são fontes de recursos externos ao sistema. No diagrama foram considerados os recursos oriundos da economia: o trabalho humano, a energia elétrica, os combustíveis, etc.

Concluída a etapa de representação do sistema, em que cada fluxo considerado no diagrama de energia (Figura 7) recebe uma linha na tabela de avaliação em emergia, inicia-se a construção de tabelas que permitem a organização dos dados, levantando-se os gastos com a matéria-prima adquirida, seja o estanho, o chumbo, a prata, o cobre e a sucata para manufatura das ligas, bem como suas transformidades. Fluxos de energia, materiais e serviços já calculados em termos de suas unidades convencionais são convertidos em fluxos de emergia quando multiplicados pela transformidade (sej/J) ou pela emergia por unidade correspondente (sej/unidade). As transformidades e emergias por unidade utilizadas, assim como as respectivas referências bibliográficas, são mostradas no ANEXO 16.

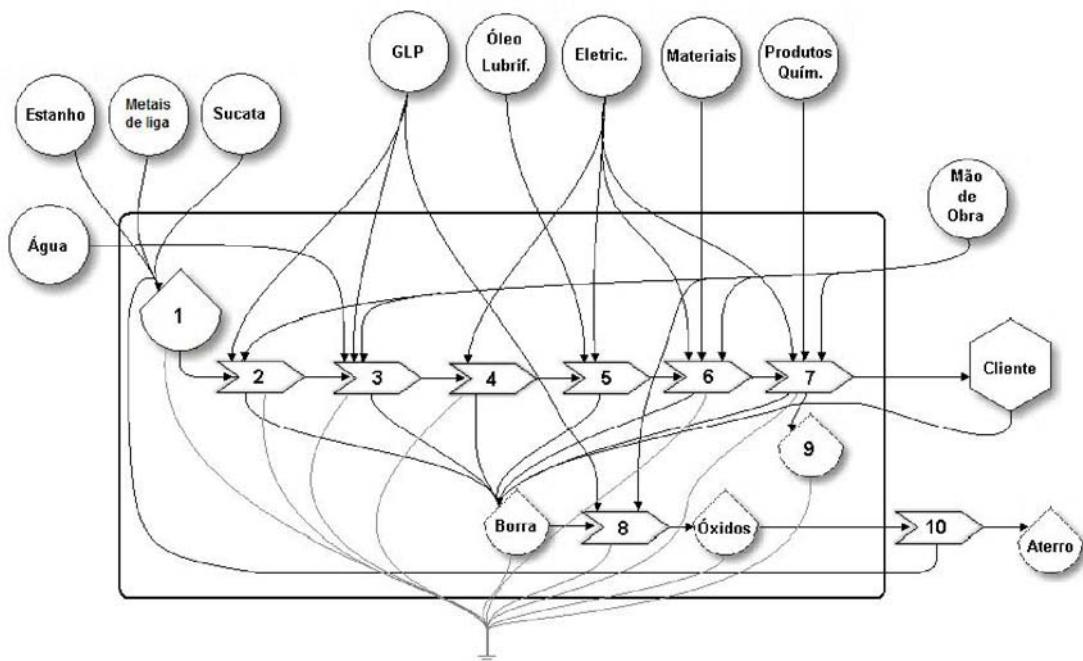


Figura 7 Diagrama de energia da produção de soldas brandas à base de estanho: (1) Estoque de recebimento de matéria-prima, (2) Forno de fundição da liga, (3) Coquilhamento dos tarugos, (4) Extrusão do fio primário, (5) Trefilação dos fios, (6) Bobinagem em carretéis plásticos e embalagem, (7) Laboratório químico, (8) Forno para recuperação de borras, (9) Efluente de laboratório e (10) Empresa fornecedora de recuperação de óxidos.

Ao se observar a Tabela 13, fica evidente que os aspectos considerados como significativos pelo primeiro levantamento de aspectos e impactos (ver Tabela 11), passaram a ser não significativos pela avaliação em emergia, onde para a liga 63Sn/37 Pb o estanho participa com 71,7% da emergia total, o chumbo com 11,9% e a sucata com 16,4%. A emergia total para a produção de 946 toneladas deste tipo de solda é de 9,47 E+20 sej.

Tabela 13. Avaliação em Emergia da produção anual de soldas 63Sn/37Pb.

Itens para produção da Liga 67Sn X 37 Pb		Quant.	Un.	Emergia por unidade (**) (sej/unid.)	Emergia Solar sej/ano	Emergia Solar %
Operação						
1	Estanho	$4,00 \times 10^8$	g	$1,70 \times 10^{12}$	$6,79 \times 10^{20}$	71,7%
2	Chumbo	$2,35 \times 10^8$	g	$4,80 \times 10^{11}$	$1,13 \times 10^{20}$	11,9%
3	Sucata	$1,24 \times 10^8$	g	$1,25 \times 10^{12}$	$1,55 \times 10^{20}$	16,4%
4	Retorno de borra (*)	$2,37 \times 10^8$	g	$1,25 \times 10^{12}$	$2,95 \times 10^{20}$	31,2%
5	Energia elétrica	$6,07 \times 10^9$	J	$1,60 \times 10^5$	$1,16 \times 10^{12}$	< 0,1%
6	Gás GLP	$1,05 \times 10^{11}$	J	$4,80 \times 10^4$	$5,03 \times 10^{15}$	< 0,1%
7	Papelão	$1,24 \times 10^6$	g	$3,90 \times 10^9$	$4,83 \times 10^{15}$	< 0,1%
8	Óleo	$1,84 \times 10^9$	J	$6,60 \times 10^4$	$1,21 \times 10^{14}$	< 0,1%
9	Mão de obra	$9,80 \times 10^{10}$	J	$4,49 \times 10^6$	$1,38 \times 10^{17}$	0,1%
10	Carretéis plásticos	$1,90 \times 10^7$	g	$3,80 \times 10^8$	$7,21 \times 10^{15}$	< 0,1%
11	Panos de limpeza	$2,04 \times 10^3$	g	$2,31 \times 10^{10}$	$4,71 \times 10^{13}$	< 0,1%
12	Ácido Clorídrico	$8,91 \times 10^4$	g	$1,00 \times 10^9$	$8,91 \times 10^{13}$	< 0,1%
13	Ácido Sulfúrico	$3,47 \times 10^4$	g	$1,00 \times 10^9$	$3,47 \times 10^{13}$	< 0,1%
14	Ácido Nítrico	$1,59 \times 10^4$	g	$1,00 \times 10^9$	$1,59 \times 10^{13}$	< 0,1%
15	Ácido Fluorídrico	$5,85 \times 10^3$	g	$1,00 \times 10^9$	$5,85 \times 10^{12}$	< 0,1%
16	Consumo de água	$8,09 \times 10^7$	g	$6,64 \times 10^5$	$7,02 \times 10^{14}$	< 0,1%
Implantação						
17	Máquinas e Equipamentos	$1,26 \times 10^4$	g	$4,10 \times 10^9$	$1,22 \times 10^{15}$	< 0,1%
18	Caixas metálicas para manuseio de borras	$3,99 \times 10^3$	g	$2,77 \times 10^9$	$1,43 \times 10^{14}$	< 0,1%
19	Cadinho	$3,78 \times 10^4$	g	$3,06 \times 10^9$	$1,16 \times 10^{14}$	< 0,1%
20	Cadinho reserva	$1,26 \times 10^4$	g	$3,06 \times 10^9$	$3,85 \times 10^{13}$	< 0,1%
21	Estruturas Metálicas do Telhado	$2,98 \times 10^7$	g	$2,77 \times 10^9$	$8,25 \times 10^{16}$	< 0,1%
22	Construção civil	$2,12 \times 10^6$	g	$1,54 \times 10^9$	$3,26 \times 10^{15}$	< 0,1%
23	Mão de Obra	$6,56 \times 10^9$	g	$4,49 \times 10^6$	$2,95 \times 10^{16}$	< 0,1%
Emergia total					$9,47 \times 10^{20}$	

(*) Não contabilizado para evitar dupla contagem.

(**) As referências bibliográficas das emergias por unidade são encontradas no ANEXO 17.

Observando-se as Tabelas 13 e 14, fica evidente que o estanho que participa com 95% da emergia total na liga 96,5Sn/3Ag/0,5Cu e com 96,8% sej/sej para a liga 99 Sn/0,3 Ag/0,7 Cu. A emergia total para a produção de 13,7 toneladas da liga 96,5Sn/3Ag/0,5Cu é de 1,69 E+19 sej e 9,13 E+19 sej para a produção de 72 toneladas da solda 99 Sn/0,3 Ag/0,7 Cu. Pode-se perceber o impacto causado pelo aumento significativo do consumo de estanho para as ligas livres de chumbo.

Para os três tipos de solda, a emergia investida na operação do processo é muito superior àquela requerida para a implantação da empresa.

Tabela 14. Avaliação em Emergia da produção anual de soldas 96,5Sn/3Ag/0,5Cu.

Itens para produção da Liga 96,5Sn X 3 Ag X 0,5 Cu		Quant.	Un.	Emergia por unidade (***)	Emergia Solar	
				(sej/unid.)	sej/ano	%
Operação						
1	Estanho	9,44 X 10 ⁶	g	1,70 X 10 ¹²	1,61 X 10 ¹⁹	95,0%
23	Prata	2,94 X 10 ⁵	g	4,50 X 10 ¹¹	1,32 X 10 ¹⁷	0,8%
24	Cobre	4,89 X 10 ⁴	g	9,80 X 10 ¹⁰	4,79 X 10 ¹⁵	0,028%
3	Sucata	4,15 X 10 ⁵	g	1,65 X 10 ¹²	6,87 X 10 ¹⁷	4,1%
4	Retorno de borra (*)	4,11 X 10 ⁶	g	1,65 X 10 ¹²	6,78 X 10 ¹⁸	40,1%
5	Energia elétrica	5,30 X 10 ⁵	J	1,60 X 10 ⁵	8,48 X 10 ¹⁰	< 0,1%
6	Gás GLP	7,67 X 10 ⁹	J	4,80 X 10 ⁴	3,68 X 10 ¹⁴	< 0,1%
7	Papelão	9,07 X 10 ⁴	g	3,90 X 10 ⁹	3,54 X 10 ¹⁴	< 0,1%
8	Óleo	1,35 X 10 ⁸	J	6,60 X 10 ⁴	8,89 X 10 ¹²	< 0,1%
9	Mão de obra	2,26 X 10 ⁹	J	4,49 X 10 ⁶	1,01 X 10 ¹⁶	0,1%
10	Carretéis plásticos	1,39 X 10 ⁶	g	3,80 X 10 ⁸	5,28 X 10 ¹⁴	< 0,1%
11	Panos de limpeza	1,49 X 10 ²	g	2,31 X 10 ¹⁰	3,45 X 10 ¹²	< 0,1%
12	Ácido Clorídrico	6,51 X 10 ³	g	1,00 X 10 ⁹	6,51 X 10 ¹²	< 0,1%
13	Ácido Sulfúrico	1,54 X 10 ³	g	1,00 X 10 ⁹	1,54 X 10 ¹²	< 0,1%
14	Ácido Nítrico	1,16 X 10 ³	g	1,00 X 10 ⁹	1,16 X 10 ¹²	< 0,1%
15	Ácido Fluorídrico	4,28 X 10 ²	g	1,00 X 10 ⁹	4,28 X 10 ¹¹	< 0,1%
16	Consumo de água	7,74 X 10 ⁷	g	6,64 X 10 ⁵	5,14 X 10 ¹³	< 0,1%
Implantação						
17	Máquinas e Equipamentos	2,18 X 10 ⁴	g	4,10 X 10 ⁹	8,95 X 10 ¹³	< 0,1%
18	Caixas metálicas para manuseio de borras	3,78 X 10 ³	g	2,77 X 10 ⁹	1,05 X 10 ¹³	< 0,1%
19	Cadinho	2,77 X 10 ³	g	3,06 X 10 ⁹	8,46 X 10 ¹²	< 0,1%
20	Cadinho reserva	9,22 X 10 ²	g	3,06 X 10 ⁹	2,82 X 10 ¹²	< 0,1%
21	Estruturas Metálicas do Telhado	6,87 X 10 ⁵	g	2,77 X 10 ⁹	1,90 X 10 ¹⁵	< 0,1%
22	Construção civil	1,35 X 10 ⁵	g	1,54 X 10 ⁹	2,07 X 10 ¹⁴	< 0,1%
23	Mão de Obra	1,51 X 10 ⁸	g	4,49 X 10 ⁶	6,76 X 10 ¹⁴	< 0,1%
						Emergia total
						1,69 X 10¹⁹

(*) Não contabilizado para evitar dupla contagem.

(**) As referências bibliográficas das emergias por unidade são encontradas no ANEXO 17.

A Tabela 15 apresenta o cálculo da emergia solar para todos os materiais e insumos, instalações, equipamentos, etc., utilizados para manufatura da liga 99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu; apenas alguns se tornaram relevantes para a avaliação em emergia, como o estanho (96,8% sej/ sej), a prata (0,1% sej/sej), o cobre com (0,04%) e a entrada de sucata (3,3% sej/ sej).

Tabela 15. Avaliação em Emergia da produção anual de soldas 99Sn/0,3Ag/0,7Cu .

Itens para produção da Liga 99Sn X 0,3 Ag X 0,7 Cu		Quant.	Un.	Emergia por unidade (**)	Emergia Solar	
				(sej/unid.)	sej/ano	%
Operação						
1	Estanho	$5,18 \times 10^7$	g	$1,70 \times 10^{12}$	$8,81 \times 10^{19}$	96,5%
23	Prata	$1,57 \times 10^5$	g	$4,50 \times 10^{11}$	$7,06 \times 10^{16}$	0,1%
24	Cobre	$3,66 \times 10^5$	g	$9,80 \times 10^{10}$	$3,59 \times 10^{16}$	0,04%
3	Sucata	$1,79 \times 10^6$	g	$1,69 \times 10^{12}$	$3,02 \times 10^{18}$	3,3%
4	Retorno de borra (*)	$2,18 \times 10^7$	g	$1,69 \times 10^{12}$	$3,69 \times 10^{19}$	40,4%
5	Energia elétrica	$2,68 \times 10^6$	J	$1,60 \times 10^5$	$4,29 \times 10^{11}$	< 0,1%
6	Gás GLP	$3,88 \times 10^{10}$	J	$4,80 \times 10^4$	$1,86 \times 10^{15}$	< 0,1%
7	Papelão	$4,59 \times 10^5$	g	$3,90 \times 10^9$	$1,79 \times 10^{15}$	< 0,1%
8	Óleo	$6,82 \times 10^8$	J	$6,60 \times 10^4$	$4,50 \times 10^{13}$	< 0,1%
9	Mão de obra	$1,14 \times 10^{10}$	J	$4,49 \times 10^6$	$5,13 \times 10^{16}$	0,1%
10	Carretéis plásticos	$7,03 \times 10^6$	g	$3,80 \times 10^8$	$2,67 \times 10^{15}$	< 0,1%
11	Panos de limpeza	$7,56 \times 10^2$	g	$2,31 \times 10^{10}$	$1,75 \times 10^{13}$	< 0,1%
12	Ácido Clorídrico	$3,30 \times 10^4$	g	$1,00 \times 10^9$	$3,30 \times 10^{13}$	< 0,1%
13	Ácido Sulfúrico	$1,29 \times 10^4$	g	$1,00 \times 10^9$	$1,29 \times 10^{13}$	< 0,1%
14	Ácido Nítrico	$5,88 \times 10^3$	g	$1,00 \times 10^9$	$5,88 \times 10^{12}$	< 0,1%
15	Ácido Fluorídrico	$2,17 \times 10^3$	g	$1,00 \times 10^9$	$2,17 \times 10^{12}$	< 0,1%
16	Consumo de água	$3,92 \times 10^8$	g	$6,64 \times 10^5$	$2,60 \times 10^{14}$	< 0,1%
Implantação						
18	Máquinas e Equipamentos	$1,10 \times 10^5$	g	$4,10 \times 10^9$	$4,53 \times 10^{14}$	< 0,1%
19	Caixas metálicas para manuseio de borras	$1,91 \times 10^4$	g	$2,77 \times 10^9$	$5,30 \times 10^{13}$	< 0,1%
20	Cadinho	$1,40 \times 10^4$	g	$3,06 \times 10^9$	$4,28 \times 10^{13}$	< 0,1%
21	Cadinho reserva	$4,66 \times 10^3$	g	$3,06 \times 10^9$	$1,43 \times 10^{13}$	< 0,1%
22	Estruturas Metálicas do Telhado	$8,01 \times 10^4$	g	$2,77 \times 10^9$	$2,22 \times 10^{14}$	< 0,1%
23	Construção civil	$7,85 \times 10^5$	g	$1,54 \times 10^9$	$1,21 \times 10^{15}$	< 0,1%
9	Mão de Obra	$7,61 \times 10^8$	g	$4,49 \times 10^6$	$3,42 \times 10^{15}$	< 0,1%
Emergia total						$9,13 \times 10^{19}$

(*) Não contabilizado para evitar dupla contagem.

(**) As referências bibliográficas das emergias por unidade são encontradas no ANEXO 17.

A emergia total para a produção de 72 toneladas deste tipo de solda é de $9,13 \times 10^{19}$ e pode-se novamente perceber o impacto causado pelo aumento do consumo de estanho para as ligas livres de chumbo.

7. DISCUSSÃO

7.1 Comparação da avaliação em emergia com a análise de aspectos e impactos conforme ISO 14001:2004

Os resultados obtidos da avaliação em emergia (Tabelas 13-15) são comparáveis com aqueles obtidos no levantamento de aspectos e impactos ambientais (Tabela 11) em apenas alguns aspectos. Para o levantamento de aspectos e impactos ambientais, o grupo de implantação do Sistema de Gestão Ambiental elegeu os consumos de água, energia elétrica e GLP como possíveis causadores de impacto de significância média e alta. Estes itens são também considerados pela avaliação em emergia.

A Tabela 16 mostra a comparação do grau de significância atribuído a estes três insumos com a avaliação em emergia. Observa-se que, apesar de o consumo de energia elétrica ter sido votado pelo grupo de implantação do Sistema de Gestão Ambiental como o consumo de maior impacto na produção, o GLP é o que apresenta a maior contribuição em emergia para o sistema, seguido, ainda, do consumo de água. O consumo de energia elétrica, devido somente à iluminação da empresa, é o insumo que menos contribui para a emergia total do sistema, contrariando a percepção dos gestores.

Tabela 16. Comparação do grau de significância (análise de aspectos e impactos conforme ISO 14001:2004) e da contribuição em emergia para o consumo de água, energia elétrica e GLP para as soldas em estudo.

ASPECTO	Grau de significância	Emergia	Emergia	Emergia
		(10 ¹³ x sej/ano) 63Sn/ 37Pb	(10 ¹³ x sej/ano) 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu	(10 ¹³ x sej/ano) 99Sn/ 0,3Ag/0,7Cu
Consumo de água	2	70	5	26
Consumo de energia elétrica	6	0,11	0,08	0,08
Consumo de Gás GLP	4	503	37	186

A avaliação em emergia, na forma como foi concebida, não contabiliza os descartes de material para o cálculo da emergia total do sistema, bem ou serviço. Entretanto, pode-se calcular a emergia necessária para acomodar estes materiais em aterros, utilizando-se a emergia por unidade do aterro, 3,79E+07 sej/g (Brown e Buranakharn, 2003). A Tabela 17 mostra a comparação entre o grau de significância atribuído pelo grupo de implantação do Sistema de Gestão Ambiental aos diversos materiais descartados e o uso de emergia de cada um deles após sua destinação final.

Observa-se que o descarte de papel e papelão (Tabela 17) foi considerado de baixa significância, enquanto a avaliação em emergia aponta que o uso do aterro para este descarte é várias ordens de grandeza maior que a contribuição de itens considerados de média significância (copos plásticos, papel higiênico e componentes de equipamentos

descartados). Novamente, a percepção dos gestores contraria os resultados obtidos pela avaliação em emergia, mas cabe ressaltar que o cálculo efetuado empregando a emergia necessária para a ocupação do aterro não considera a toxicidade dos materiais descartados ou o tempo necessário para sua decomposição.

Tabela 17. Comparação do grau de significância (análise de aspectos e impactos conforme ISO 14001:2004) e da contribuição em emergia para o uso de aterro para as soldas em estudo).

ASPECTO	Grau de significância	Emergia	Emergia	Emergia
		(10 ⁻¹⁰ x sej/ano) 63Sn/ 37Pb	(10 ⁻¹⁰ x sej/ano) 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu	(10 ⁻¹⁰ x sej/ano) 99Sn/ 0,3Ag/0,7Cu
Descarte de papel e papelão	2	4700	344	1740
Descarte de componentes mecânicos de equipamentos	3	0,00001	0,000001	0,00005
Descarte de copos plásticos	3	0,006	0,000004	0,00003
Descarte de papel higiênico	3	0,00007	0,000005	0,00002
Descarte de panos de limpeza	3	8	0,6	3
Descarte de borras de estanho	3	184000	2320	12100

7.2 Simulação da substituição total da liga 63Sn/37Pb pela ligas livres de chumbo.

Como os mercados mundiais vêm apontando, em especial o europeu e japonês, pode haver a substituição total do chumbo pelas soldas contendo prata e cobre. Para simular tal condição, tomou-se a quantidade produzida das soldas sem chumbo, como iguais à produzida atualmente para soldas 67Sn/37Pb. A Tabela 18 mostra as principais contribuições em emergia, para comparação dos valores em emergia para as ligas 96,5Sn/3Ag/0,5Cu e 99Sn/0,3Ag/0,7Cu, respectivamente. Observa-se que a emergia total da empresa aumenta em aproximadamente 23% sej/sej quando se considera apenas a matéria-prima empregada para a produção de solda.

Tabela 18. Simulação da substituição da liga 63Sn/37 Pb, pela liga 96,5Sn/ 3 Ag/ 0,5 Cu e pela liga 99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu.

Elementos de liga	Quantidade	Unidade	Transformidade sej/unid	Emergia Solar sej
63Sn/37 Pb				
Estanho	$4,00 \times 10^8$	g	$1,70 \times 10^{12}$	$6,80 \times 10^{20}$
Chumbo	$2,35 \times 10^8$	g	$4,80 \times 10^{11}$	$1,13 \times 10^{20}$
Sucata	$1,24 \times 10^8$	g	$1,25 \times 10^{12}$	$1,55 \times 10^{20}$
Emergia total				$9,48 \times 10^{20}$
96,5Sn/ 3 Ag/ 0,5 Cu				
Estanho	$6,76 \times 10^8$	g	$1,70 \times 10^{12}$	$1,15 \times 10^{21}$
Prata	$2,10 \times 10^7$	g	$4,50 \times 10^{11}$	$9,45 \times 10^{18}$
Cobre	$3,50 \times 10^6$	g	$9,80 \times 10^{10}$	$3,43 \times 10^{17}$
Sucata	$4,15 \times 10^5$	g	$1,65 \times 10^{12}$	$6,87 \times 10^{17}$
Emergia total				$1,16 \times 10^{21}$
99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu				
Estanho	$6,92 \times 10^8$	g	$1,70 \times 10^{12}$	$1,18 \times 10^{21}$
Prata	$2,10 \times 10^6$	g	$4,50 \times 10^{11}$	$9,44 \times 10^{17}$
Cobre	$4,89 \times 10^6$	g	$9,80 \times 10^{10}$	$4,79 \times 10^{17}$
Sucata	$1,79 \times 10^6$	g	$1,69 \times 10^{12}$	$3,02 \times 10^{18}$
Emergia total				$1,18 \times 10^{21}$

Comparando-se as energias por unidade dos três tipos de solda, observa-se que mais recursos são utilizados para produzir uma tonelada de solda livre de chumbo que para produzir a solda composta com apenas estanho e chumbo. Desta forma, no que concerne à eficiência na utilização de recursos, pode-se dizer que a solda 63Sn/37Pb é a melhor opção, conforme Tabela 19.

Tabela 19. Energias por unidade dos três tipos de solda produzidas.

Tipo de liga	63Sn / 37Pb	96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu	99 Sn / 0,3 Ag/ 0,7 Cu
Energy por unidade / (sej/ton) $\times 10^{18}$	1,0	1,2	1,3

7.3 Avaliação do papel da logística reversa no desempenho ambiental da empresa

7.3.1. Quanto à captação de borra

Para uma avaliação do papel da logística reversa no desempenho ambiental da empresa considerou-se a quantidade de borra recolhida para cada tipo de liga. A borra recolhida de terceiros é, neste trabalho, chamada de sucata, para diferenciar sua origem. Esta sucata pode vir de terceiros ou de clientes que compram solda de outros fornecedores e podem encaminhar a borra do processo de soldagem para a Cast.

Nas tabelas de avaliação em energia (Tabelas 13-15), pode-se observar as quantidades de borra e sucata utilizadas atualmente pela Cast em seus processos de produção. A captação de borra e sucata gera economia da utilização de recursos naturais dos metais virgens. Na Tabela 20 mostra-se um resumo da utilização de borra e sucata para os três tipos de solda.

Tabela 20. Resumo das energias das ligas e da porcentagem de borra e sucata recolhidas atualmente pela empresa.

Liga	Energy total (sej/ano)	Borra (sej/sej)	Sucata (sej/sej)
63Sn/ 37 Pb	$9,47 \times 10^{20}$	31,2%	16,4%
96,5Sn/ 3 Ag/ 0,5 Cu	$1,69 \times 10^{19}$	40,1%	4,1%
99Sn / 0,3Ag/ 0,7Cu	$9,13 \times 10^{19}$	40,4%	3,3%

Para a avaliação do papel da logística reversa no desempenho ambiental da empresa, considerou-se a quantidade de borra recolhida para cada tipo de liga. Para o empresário, as flutuações de preço justificam o envio de embalagens para a recuperação de borra e a aplicação dos conceitos da logística reversa.

As Tabelas 22, 23 e 24 mostram a economia de energia e de recursos financeiros devido ao recolhimento de borra. O dólar adotado foi o de março de 2009, conforme Tabela 21, que mostra o custo das principais matérias-primas e da borra.

TABELA 21. Preços da tonelada de estanho, chumbo, prata, cobre e borra, em março de 2009.

	Sn	Pb	Ag	Cu	Borra livre de chumbo	Borra Sn/Pb
US\$/ton	11.039,00	1.132,70	55.000,00	3.114,73	8.000,00	5.000,00

Fonte: <http://www.shockmetais.com.br/index.php/lme> - Março 2009.

Para a liga 63Sn/ 37 Pb, observa-se que a quantidade de borra utilizada atualmente gera uma redução de 5,06 % do custo da matéria-prima na empresa, o que equivale a aproximadamente US\$ 310.000 por ano (Tabela 22). A redução da emergia total, devido à utilização da borra, é de 16% seja/sem.

Tabela 22. Simulação do retorno de borra da liga 63Sn/ 37 Pb.

Retorno da Borra 63Sn/ 37Pb	Sn $10^8 \times g$	Pb $10^8 \times g$	Borra $10^8 \times g$	Total US\$/ano	Emergia sej/ano
borra zero	5,3	3,1	0,0	6.179.729	$1,20 \times 10^{21}$
atual	4,0	2,4	2,4	5.866.785	$9,48 \times 10^{20}$

Já para a liga 96,5Sn/ 3Ag/ 0,5Cu, pode-se observar que atualmente apenas se obtém uma redução de 1% do gasto total com matéria-prima na empresa, equivalente a US\$11.200 por ano. A emergia total utilizada tem uma redução de aproximadamente 26% seja/sem (Tabela 23).

Tabela 23. Simulação do retorno de borra da liga 96,5 Sn/ 3 Ag/ 0,5 Cu.

Retorno da Borra 96,5Sn/3Ag/0,5Cu	Sn $10^4 \times g$	Ag $10^4 \times g$	Cu $10^4 \times g$	Borra $10^4 \times g$	Total US\$/ano	Emergia sej/ano
borra zero	1290	40,0	6,7	0,0	164.611	$2,28 \times 10^{19}$
atual	944	29,4	4,9	411	153.410	$1,69 \times 10^{19}$

Para a liga 99Sn/0,3 Ag/0,7 Cu, a redução no custo de matéria-prima atinge também apenas 1%, que corresponde a cerca de US\$ 35.000 por ano. A redução na emergia total é de aproximadamente 34% (Tabela 24).

Tabela 24. Simulação do retorno de borra da liga 99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu.

Retorno da Borra 99Sn/0,3Ag/0,7Cu	Sn $10^5 \times g$	Ag $10^5 \times g$	Cu $10^5 \times g$	Borra $10^5 \times g$	Total US\$/ano	Emergia sej/ano
borra zero	705	2,1	4,9	0,0	791.571	$1,23 \times 10^{20}$
atual	518	1,6	3,7	218	755.995	$9,13 \times 10^{19}$

Comparando-se os resultados das Tabelas 22 a 24 observa-se que a redução em moeda, devido ao emprego da borra, é maior para a liga que contém mais prata, com US\$0,86 por quilograma de solda produzida. Para a liga 99Sn/ 0,3Ag/ 0,7Cu obtém-se uma economia de 0,49 US\$/kg e para a liga de 63Sn/ 37Pb economiza-se 0,32 US\$/kg.

O recolhimento de borra dos clientes, por meio da logística reversa, melhora o desempenho ambiental da empresa e também gera benefícios econômicos. A recuperação da borra evita o uso de recursos naturais e o descarte deste material no aterro (não contabilizado nas Tabelas 22-24).

Neste estudo, considerou-se a quantidade máxima de borra a ser devolvida pelos clientes (25% para a liga de Sn/Pb e 30% para as ligas livres de chumbo - Figuras 2 a 5). Não se espera que o cliente produza mais borra, o que seria indício de equipamentos mal regulados e desperdício na operação de soldagem. Desta forma, os limites para os ganhos ambientais e financeiros devidos à logística reversa estão representados nas tabelas 22 a 24, para os três tipos de liga.

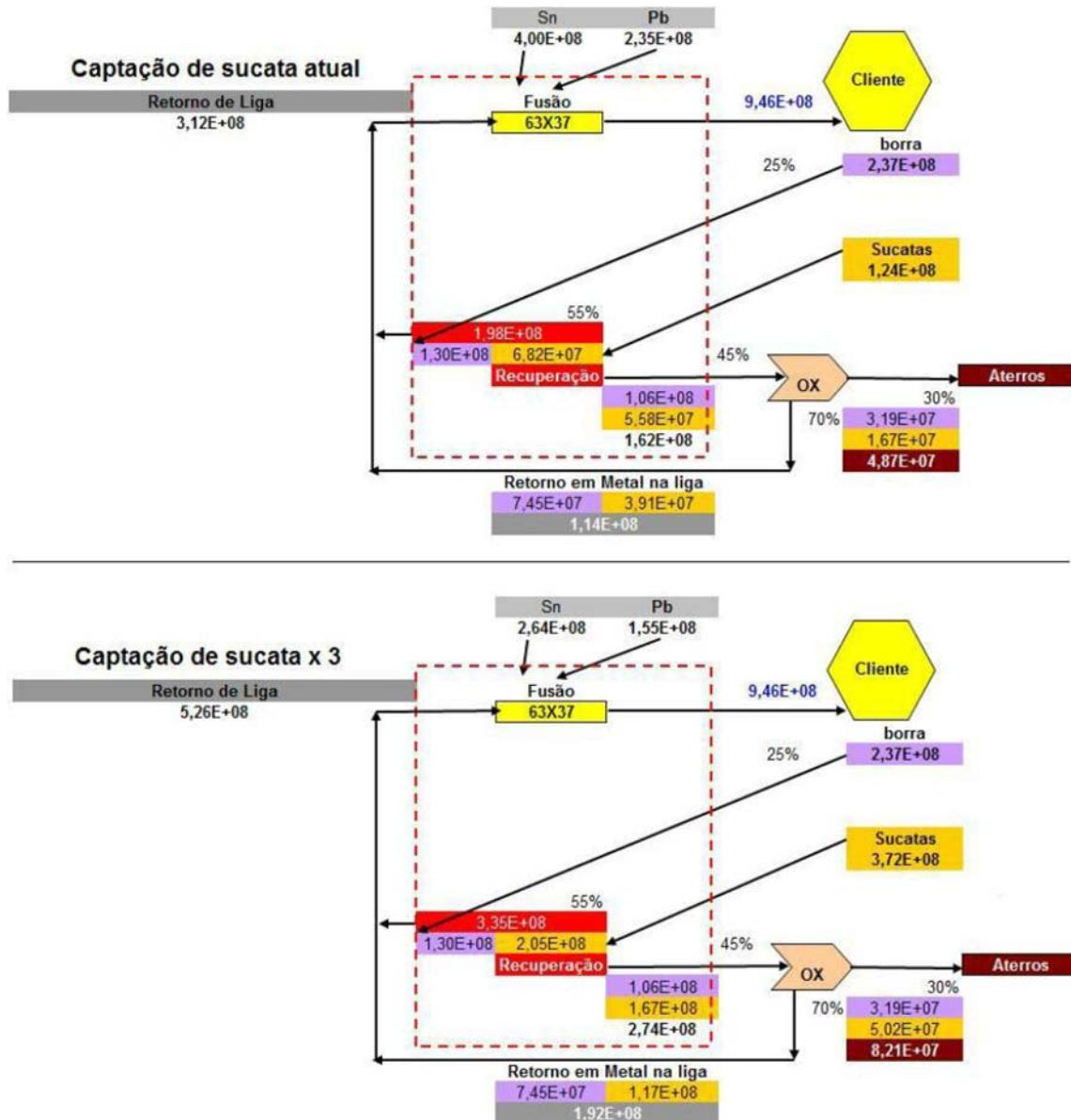
7.3.2. Quanto à captação de sucata

Para a avaliação do papel da captação de sucata no desempenho ambiental da empresa considerou-se a quantidade de sucata adquirida para cada tipo de liga. Tomando-se como base os dados atuais - Tabelas 13,14 e 15 - avaliou-se os efeitos do aumento da captação de sucata de terceiros. Da mesma forma, foram simulados os ganhos financeiros devidos à captação de sucata. As Tabelas 25 a 27 mostram a variação dos custos da matéria-prima e da emergia total em função da quantidade de sucata adquirida no mercado.

Tabela 25. Simulação da captação anual de sucata da liga 63Sn/37 Pb.

Captação de sucata 63Sn/ 37Pb	Sn 10 ⁸ x g	Pb 10 ⁸ x g	Sucata 10 ⁸ x g	Total US\$	Emergia 10 ²⁰ x sej
sucata zero	4, 7	2,6	-	5.454.246	9,26
atual	4,0	2,4	1,2	5.301.785	9,48
sucata x 2	2,7	1,6	2,5	5.125.825	9,68
sucata x3	1,4	0,8	3,7	4.949.865	9,89

Observa-se na Tabela 25 que o aumento na captação de sucata leva à diminuição do custo total das matérias-primas. Quando se duplica a quantidade de sucata, por exemplo, obtém-se uma redução de custo de aproximadamente 6%, além daquela já obtida pela captação de borra. Entretanto, esta redução de custo é acompanhada por um pequeno aumento da emergia total do sistema. Isto se deve aos rendimentos dos processos de recuperação de borra e sucata. Para um aumento de três vezes na captação de sucata, o aumento do retorno de liga para a produção de solda é de apenas 68% em massa (Figura 8).



Legenda

- Quantidades utilizadas de metais virgens ou de retorno da recuperação na composição da liga.
- Quantidade de liga recuperada.
- Processo do cliente.
- Forno de fusão externo.
- Retorno de borra dos clientes e dos fornos de refusão.
- Aquisição de sucata no mercado.
- Efluentes destinados a aterros sanitários homologados.
- Fronteira do sistema produtivo da empresa em estudo.

Figura 8. Fluxogramas para simulação da captação de sucata. As quantidades estão expressas em gramas.

As Tabelas 26 e 27 mostram a simulação do aumento de recolhimento de sucata para as ligas livres de chumbo. Observa-se que a emergia total também aumenta ligeiramente para as duas ligas em função do aumento do uso de sucata. Porém, para a liga 96,5Sn/3Ag/0,5Cu há uma redução de custo de 27% se a quantidade atual de sucata

utilizada for dobrada e de 49% se esta quantidade for triplicada. Para a liga 99Sn/0,3Ag/0,7Cu a redução de custo é de 28% e 51%, respectivamente.

Tabela 26. Simulação da captação anual de sucata da liga 96,5 Sn/ 3 Ag/ 0,5 Cu.

Captação de Sucata 96,5Sn/3Ag/0,5Cu	Sn 10 ⁴ x g	Ag 10 ⁴ x g	Cu 10 ⁴ x g	Sucata 10 ⁴ x g	Total US\$	Emergia 10 ¹⁹ x seja
sucata zero	1290	40,0	6,7	-	164.611	1,68
atual	944	29,4	4,9	41,5	123.850	1,69
sucata X 2	601	18,7	3,1	166,0	90.007	1,72
sucata X3	258	8,0	1,3	375,0	62.939	1,76

Tabela 27. Simulação da captação anual de sucata da liga 99 Sn/ 0,3 Ag/ 0,7 Cu.

Captação de Sucata 99Sn/0,3Ag/0,7Cu	Sn 10 ⁴ x g	Ag 10 ⁴ x g	Cu 10 ⁴ x g	Sucata 10 ⁴ x g	Total US\$	Emergia 10 ¹⁹ x seja
sucata zero	7050	21,4	49,8	-	791.571	9,09
atual	5180	1,6	36,6	179	595.915	9,13
sucata X 2	3310	1,0	23,4	720	429.220	9,25
sucata X3	1440	4,4	10,2	1620	291.283	9,45

Pode-se perceber nas Tabelas 25-27 que o aumento da captação de sucata traz mais resultados econômicos do que de caráter ambiental, visto que a emergia aumenta ligeiramente. Porém, para todas as ligas o aumento na emergia total não ultrapassa 7% seja/zej. Os ganhos em dólares na captação de sucatas no mercado são maiores quando se empregam ligas livres de chumbo, pois os preços dos metais componentes destas ligas são maiores. A Figura 9 mostra a economia alcançada por tonelada de solda produzida para os três tipos de liga. Observa-se que as ligas livres de chumbo são aquelas que apresentam maior vantagem com a utilização de sucata.

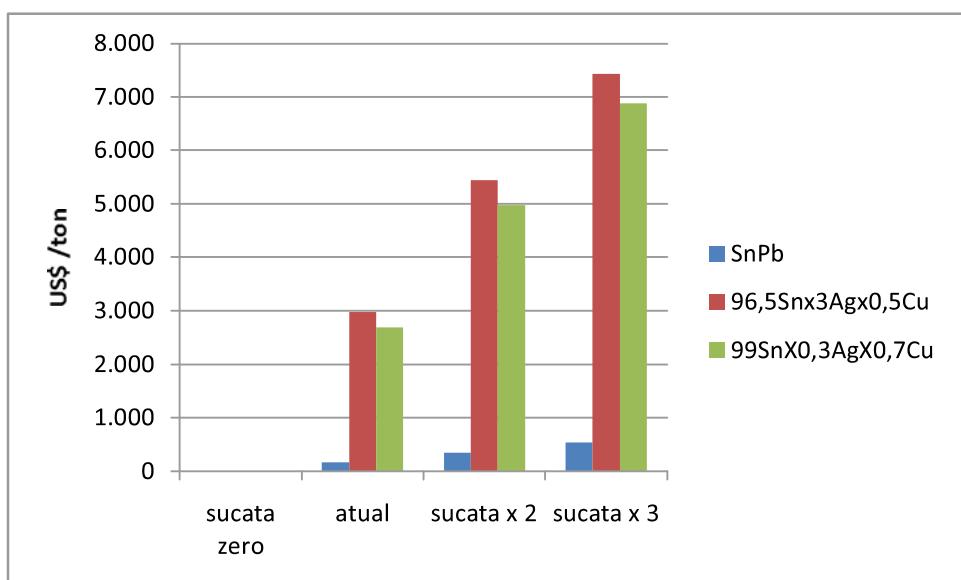


Figura 9. Ganhos em dólares com a captação de sucata por tonelada de liga produzida.

7.4 Avaliação das emissões e dos danos à saúde humana dos três tipos de solda

A abordagem empregada na análise de Ukidwe e Bakshi (2004) foca os impactos à saúde humana relacionados ao efeito sobre os anos de vida das pessoas expostas (Disability Adjusted Life Years, DALY). É possível estimar o impacto na saúde humana devido à emissão de uma determinada substância. No caso do presente estudo, a análise do DALY considera a emissão de chumbo para o ar (Andrae, 2008).

O valor da emissão de chumbo, de 0,6g de chumbo para cada quilograma de solda produzida, foi retirado da literatura (Itsubo, 2003). Os valores das emissões de CO₂, SO_x e material particulado (MP) foram retirados de Socolof, 2005 (EPA – 744- S – 05 – 001 – August 2005). Considerou-se a quantidade de solda livre de chumbo igual à de 63Sn/ 37Pb produzida na Cast (946 t) para comparar os efeitos da total substituição das soldas com chumbo. As tabelas com os cálculos detalhados podem ser encontradas no Anexo 18.

A figura 10 mostra os DALYs calculados para a produção na empresa, sem considerar os EPI's utilizados normalmente na produção. Os anos perdidos para cada quilograma de solda produzida sem a utilização dos EPIs correspondem a $1,54 \times 10^5$ DALYs, o que equivale a 14,5 anos para a produção de 946 toneladas de solda 63Sn/ 37Pb, dos quais 75% correspondem à emissão de chumbo no ar. Nota-se que a emissão de CO₂ contribui com 22% do DALY total.

Os funcionários utilizam os EPIs corretamente, além disso, a empresa faz a captação dos gases e filtragem através de sistema exaustor com mangas (EPCs), para recolhimento do pó, e posterior envio para recuperação dos metais inclusos em fornecedor homologado pela CETESB. Neste trabalho, considerou-se que os EPIs empregados diminuem os efeitos das emissões na manufatura em 80%. Neste caso, o número de anos perdidos cai para aproximadamente 3 anos (Tabela A18b, ANEXO 18).

A produção da solda livre de chumbo também apresenta emissões de CO₂, SO_x e MP (Socolof, 2005) e o DALY total para a produção de 946 toneladas livres de chumbo corresponde à perda de 2 anos sem EPIs e 0,4 anos com EPIs .

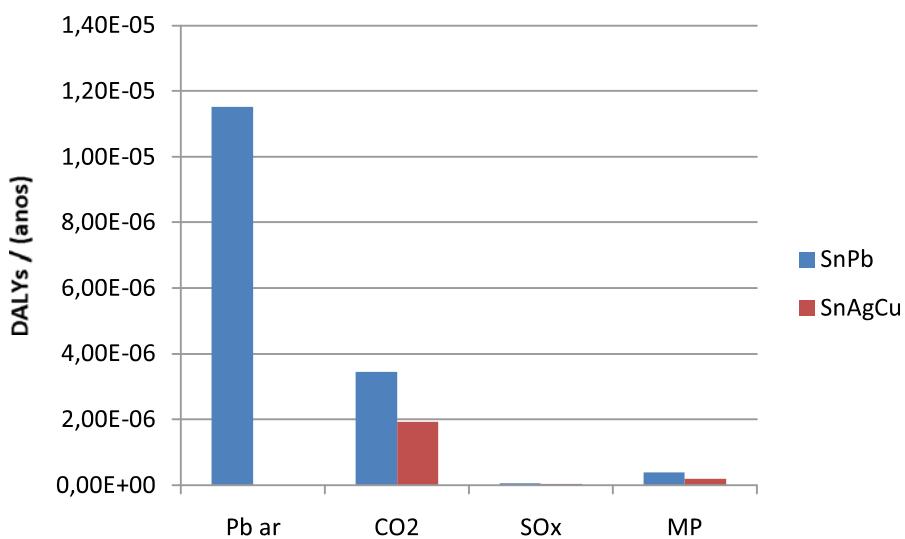


Figura 10. DALYs calculados para a produção das soldas na Cast Metais e Soldas Ltda. sem considerar o uso de EPIs.

A emergia que corresponde aos DALYs associados a cada emissão pode ser calculada de acordo com a Equação 2 e a (Tabela 28). Considerando-se que a empresa conta com 30 funcionários e a produção de 946 t para os dois tipos de solda, a emergia total perdida na forma de anos em que os funcionários podem sofrer de alguma doença ou anos perdidos por morte prematura, corresponde a aproximadamente 1% da emergia total do processo de manufatura. Observa-se que o valor da emergia “perdida” para as soldas livres de chumbo é sete vezes menor que aquela devido à utilização das soldas com chumbo.

Tabela 28. Cálculo da emergia associada aos anos perdidos devido às emissões na manufatura.

Liga	Emergia					
	Pb ar	CO ₂	SO _x	MP*	sej/kg	sej/ano
SnPb	$1,69 \times 10^{11}$	$5,06 \times 10^{10}$	$7,40 \times 10^8$	$5,63 \times 10^9$	$2,26 \times 10^{11}$	$6,42 \times 10^{18}$
SAC		$2,83 \times 10^{10}$	$6,23 \times 10^8$	$2,87 \times 10^9$	$3,18 \times 10^{10}$	$9,03 \times 10^{17}$

Para melhor compreender os resultados apresentados, utilizou-se o valor estatístico de vida Miraglia, (2005) e o EMR (*energy money ratio*) para converter os valores obtidos em moeda. O valor estatístico de vida para o Brasil encontrado na literatura é de US\$ 7.700. Este valor é estimado levando-se em conta o capital humano e os custos de internação em hospitais (Seroa e Mota). Os autores destacam que, devido à baixa renda *per capita* nos países em desenvolvimento, o valor estimado para o Brasil pode estar no limite inferior do intervalo de valores. O EMR é a razão entre a emergia do país e seu PIB (Produto Interno Bruto) e permite a conversão de valores em emergia em moeda. O EMR do Brasil foi calculado por Ângela (et, al, Romaneli, 2007) e corresponde a $1,20 \times 10^{13}$ sej/US\$.

A Tabela 29 mostra os valores obtidos. Considerando-se os DALYs calculados, pode-se dizer que há um custo anual de aproximadamente US\$ 22.000 associados à operação da empresa para produzir 946 t anuais de soldas 63Sn/ 37Pb. Este custo, que não é pago pela empresa, é distribuído para a sociedade. Quando se considera o cálculo em emergia, observa-se que o valor cai para cerca de US\$ 9.000 anuais. Esta diferença se deve ao fato de que o Brasil tem um alto valor de EMR, composto por grande quantidade de recursos naturais gratuitos em oposição a um baixo PIB. Em países com poucos recursos naturais e PIBs elevados, o valor do EMR cai e a diferença entre os dois tipos de cálculo deve diminuir. Quando se trata das soldas livres de chumbo, observa-se que o custo associado ao DALY da manufatura é sete vezes menor que o associado à produção de soldas de 63 Sn/ 37Pb. Este resultado indica que, apesar de a empresa não arcar diretamente com este custo, é preferível produzir as soldas livres de chumbo.

Tabela 29. Valores de DALY e emergia convertidos em moeda, considerado o uso de EPIs para os dois tipos de solda.

US\$ com EPI			
SnPb	DALY, anos	2,91	22.425,83
	Emergia, sej/ano	$2,14 \times 10^{17}$	9.070,54
SAC	DALY, anos	0,41	3154,424
	Emergia, sej/ano	$3,01 \times 10^{16}$	1281,294

O relatório de Socolof, 2005, mostra as quantidades de emissões por quilograma de solda para todo o ciclo de vida dos dois tipos de solda, o que permite calcular o DALY desde a extração das matérias-primas até o descarte do produto (ver cálculos completos nos ANEXO 19. A Figura 11 mostra a comparação entre os valores do DALY para os dois tipos de solda, para cada etapa do ciclo de vida das soldas. Para a solda 63 Sn/ 37Pb, observa-se que as emissões de chumbo são as mais importantes nas etapas de manufatura e aplicação da solda. Entretanto, nas etapas que ocorrem antes da chegada das matérias-primas à empresa, nota-se um DALY associado à emissão de CO₂ aproximadamente duas vezes maior que o valor do DALY associado à emissão de chumbo.

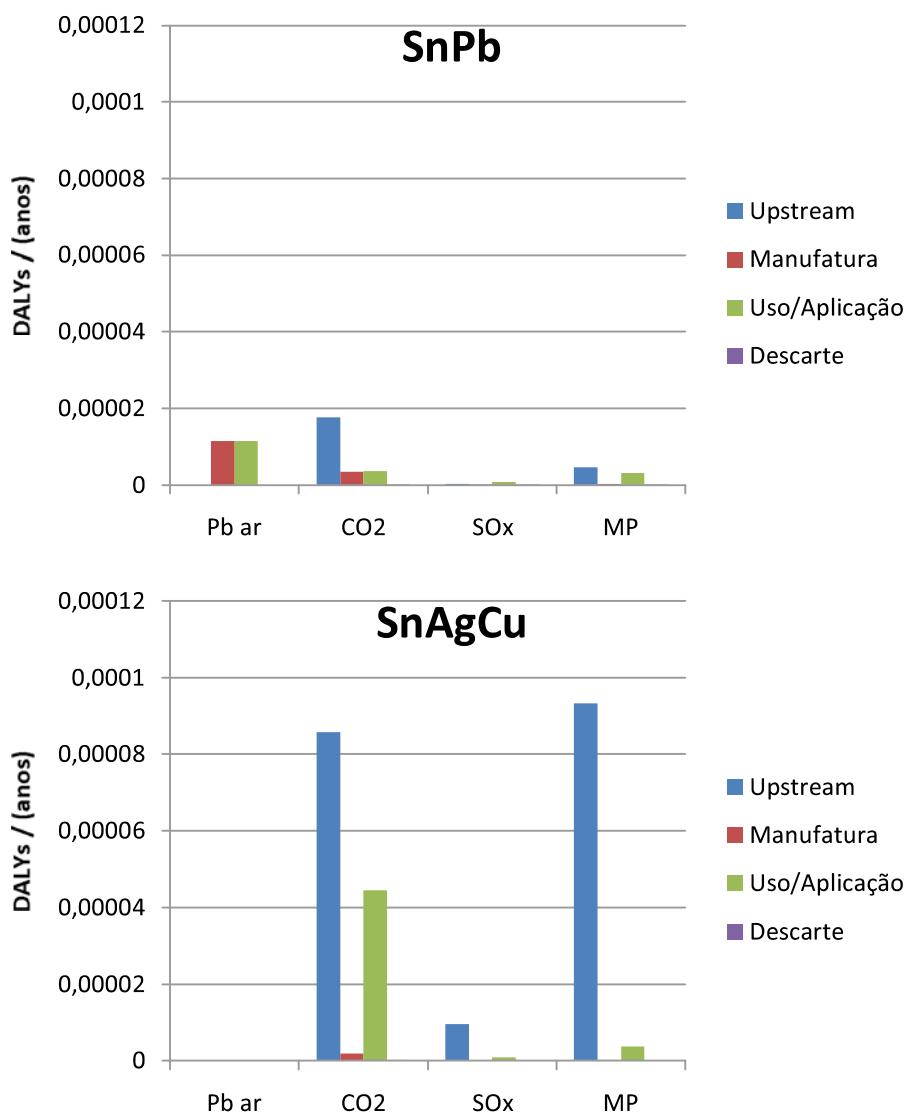


Figura 11. Comparação entre os valores do DALY para os dois tipos de solda e para cada etapa do ciclo de vida das soldas.

Foi considerada a mesma emissão, tanto para a manufatura como para a etapa de aplicação da solda.

Considerada a utilização correta dos EPIs, bem como a captação dos gases e filtragem através de sistema exaustor com mangas, para recolhimento do pó, e posterior envio para recuperação dos metais inclusos em fornecedor homologado pela CETESB, conforme apresentado no Anexo 15, levando-se em conta, para tanto, a eficiência do sistema 80% para os cálculos efetuados nas Tabelas 30 e 31.

7.5 Comparação dos ciclos com o recursos não renováveis das soldas produzidas pela Cast.

Na Figura 12, pode-se observar que a quantidade de recursos não renováveis utilizados para a obtenção de 1 kg de solda é 13,7 vezes maior quando se trata das soldas livres de chumbo (ANEXO 20). Desta forma, as emissões para o ar decorrentes da utilização e manuseio desses materiais são maiores para as ligas livres de chumbo durante as etapas de extração e beneficiamento.

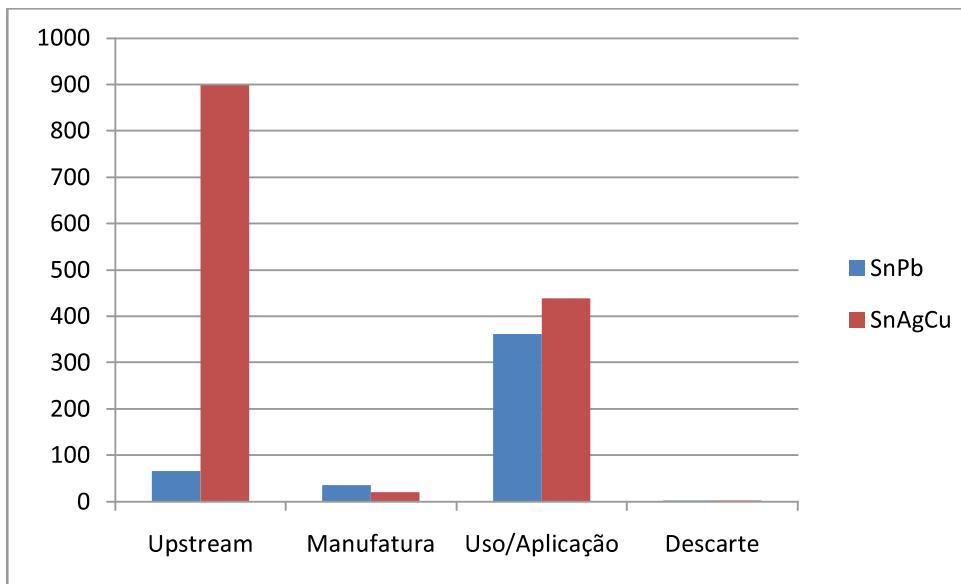


Figura 12. Comparação entre as soldas produzidas e os recursos não renováveis.

8. RESULTADOS

A avaliação em emergia foi empregada para avaliar o processo de produção de três tipos de ligas na empresa, e para verificar o efeito da logística reversa (retorno de borra), bem como da utilização de sucata de soldas no processo de produção destas ligas. Foi utilizado o indicador DALY para verificar o impacto na saúde humana, decorrente dos efluentes gasosos dos processos de manufatura das soldas à base de estanho, nos anos de 2006 e 2007.

- O levantamento de aspectos e impactos ambientais, no formato criado para implantação da ISO14001: 2004 associou os maiores impactos da produção ao consumo de energia elétrica com grau de significância 6 e consumo de GLP com grau de significância 4 para os dois tipos de solda. Com esta metodologia não foi possível determinar qual tipo de solda a ser empregado com a finalidade de diminuir os impactos gerados na produção.
- A avaliação em emergia mostra que o maior impacto causado pela fabricação das três ligas é o uso de recursos naturais não renováveis, sendo o consumo de estanho o que mais contribui para a emergia total. Entre os insumos utilizados, o GLP é o que contribui com maior parcela da emergia total para todas as ligas avaliadas.
- Substituindo-se totalmente a produção de ligas de SnPb por ligas livres de chumbo, observa-se que a solda SnPb, com emergia total de $9,48 \times 10^{20}$ sej/ano apresenta melhor desempenho no que tange ao uso de recursos naturais. As ligas livres de chumbo apresentam em média a emergia total de $1,17 \times 10^{21}$ sej/ano.
- O cálculo das emergias por unidade dos três tipos de solda mostrou que mais recursos são utilizados para produzir uma tonelada das soldas livres de chumbo (SAC). A liga 96,5Sn/3Ag/0,5Cu utiliza 20% mais emergia para a produção de 1 kg de solda, enquanto que para a liga 99Sn/0,3Ag/0,7Cu são empregados 30% mais recursos do que para a produção da liga que utiliza chumbo. Assim, pode-se dizer que a solda 63Sn/ 37Pb é a melhor opção no que concerne à eficiência na utilização de recursos.
- Observou-se que a logística reversa traz benefícios econômicos para clientes e fornecedores. Mantidas as quantidades produzidas em 2006 e 2007, contabilizou-se uma economia financeira de 5% na produção da solda 63Sn/ 37Pb, e de 1% para as ligas livres de chumbo. Nos valores de emergia a redução é de 16% para a solda 63Sn/ 37Pb, 26% para a solda 96,5Sn/3Ag/ 0,5Cu e de 34% para a 99Sn/0,3Ag/0,7Cu. A maior redução observada para as ligas livres de chumbo deve-se à economia de prata e estanho, que têm maior emergia por unidade que o chumbo.

- Observou-se que os benefícios trazidos pela logística reversa têm um limite e para aumentar este limite é necessário aumentar a quantidade de sucata recolhida.
- Com a simulação da captação de sucata em 3 vezes para a liga SnPb obteve-se uma redução de custo de 6%. Para a liga 96,5Sn/ 3Ag/0,5Cu a redução dos custos é de aproximadamente 28% e para a liga 99Sn/0,3Ag/0,7Cu de 51%, deixando claro o impacto econômico causado pelo consumo do estanho e prata virgens.
- Quanto aos anos perdidos por morte prematura ou incapacidade devido às emissões na manufatura, o cálculo do DALY, considerado uma eficiência de 80% para os EPI's utilizados na empresa, mostra que pode haver 2,91 anos perdidos devidos à produção da solda 63Sn/ 37Pb, que corresponde a uma emergia de $2,41 \times 10^{17}$ sej/ano. Para as ligas SAC calculo-se 0,41 anos perdidos, que correspondem a uma emergia de $3,01 \times 10^{16}$ sej/ano. Associando-se a esses valores ao valor estatístico de vida, obteve-se os custos de US\$ 9.070,54 para a liga SnPb e US\$ 1.281,94 para as ligas SAC.

A Tabela 30 mostra um resumo dos resultados obtidos de acordo com os objetivos estabelecidos.

Tabela 30. Comparação do desempenho das três ligas em estudo na manufatura.

Aspecto avaliado		63Sn/37Pb	96,5Sn/3Ag/0,5Cu	99Sn/0,3Ag/0,7Cu
A primeira avaliação de aspectos e impactos, pela ISO14001:2004. (Energia Elétrica)	Grau de significância	6	6	6
Simulação da substituição da liga 63 Sn/37 Pb pela ligas em estudo.	(sej/t) $\times 10^{18}$	1,0	1,2	1,3
Benefícios financeiros da logística reversa	US\$/kg ano	0,32	0,86	0,49
Benefícios em energia da logística reversa	(sej/kg ano) $\times 10^{14}$	2,66	4,53	4,40
Benefícios financeiros da captação de sucata (3X).	US\$/kg ano	0,50	7,80	6,90
Benefícios em energia da captação de sucata (3X).	(sej/kg ano) $\times 10^{13}$	- 6,66	- 6,15	- 5,00
DALY considerando-se o uso de EPI's.	(anos/kg) $\times 10^{-6}$	3	0,43	
Emergia associada aos anos perdidos devido às emissões na manufatura com o uso de EPI.	(sej/ kg ano) $\times 10^{11}$	2,26	0,32	
Custo associado aos anos de vida perdidos e vividos com incapacidade	US\$/kg ano	0,009	0,001	

Legenda

- Nada se pode concluir
- Melhor alternativa.
- Pior alternativa.

A avaliação em emergia foi empregada para avaliar o processo de produção de três tipos de ligas na Cast Metais e Soldas, com o objetivo de fornecer parâmetros, para a tomada de decisão por parte dos gestores, na substituição das soldas à base de estanho e chumbo. De acordo com os resultados obtidos, pode-se sugerir, tanto pela análise em emergia, como pelo indicador DALY, que as soldas livres de chumbo (SAC) são mais amigáveis com o meio ambiente.

9. BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, C.M.V.B.; BARRELLA, F.N.; GIANNETTI, B.F. Emergetic ternary diagrams: five examples for application in environmental accounting for decision-making. *Journal of Cleaner Production*, n.15: p. 63-74, 2007.
- ANDRAE, N.S.G; ITSUBO, N; INABA, A. Global environmental impact assessment of the Pb-free shift. *Emerald Group Publishing Limited*, p. 18-28, 2007.
- ANDRAE,N.S.G; ITSUBO,N.; YAMAGUCHI,H., INABA,A. Life cycle assessment of Japanese high-temperature condutive adhesives. *Environ, Sci. Thehnol*, 42, 3084-3089, 2008.
- BAKSHI,B.R. A thermodynamic framework for ecologically conscious process systems engineering. *Computers and Chemical Engineering*. v.24, Ohio State University, USA, p.1767-1773, 2000.
- BALLOU, R. H. *Logística empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. 388 p. São Paulo: Atlas, 1993. ISBN 85-224-0874-2.
- BASTIANONI,S.; NICCOLUCCI,V.; PICCHI, M.P. Thermodynamic analysis of ceramics production in Sassuolo (Italy) from a sustainability viewpoint. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 66, 273-280, 2001.
- BRANDT-WILLIAMS, S. L. *Handbook of Energy Evaluation, - A Compendium of Data for Energy Computation Issued in a Series of Folios – Folio #4 (2nd printing): Energy of Florida Agriculture*. Center for Environmental Policy – *Environmental Engineering Sciences*, 2002.
- BROWN,M.T; BURANAKARN,V. Energy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. *Resources Conservation & Recycling*, p.1-20, 2003.
- BROWN, M.T; ULGIATI,S. Energy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *Journal of Cleaner Production*, n.10, p.321-334, 2002.
- BURANAKARN, V. *Evaluation of Recycling and Reuse of Building Materials Using the Energy Analysis Method*. 1998. 281 f. Tese de Doutorado: – University of Florida, U.S.A.

CARUSO, C.; CATENACCI, G.; MARCHETTINI, N.; PRINCIPI, I.; TIEZZI, E. Emergy based analysis of Italian electricity production system. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, n.66, p.265-272, 2001.

CHARLES H, K.; SINNADURAI, N. Electronics and the environment. *Electronic components and technology conference*, p. 1705-1713, 2003.

CIOCCI R, PECHT, M; Impact of environmental regulations on green electronics manufacture, *Microelectronics International*, p. 45-50, 2006.

COELHO, O; ORTEGA, E; COMAR, V. Balanço de Emergia do Brasil, *Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP*, 2002. Disponível em: <http://wwwfea.unicamp.br/docente/ortega/livro/C05-Brasil-COC.pdf>. Acesso em 03 de março/2009.

COHEN, M.J.; BROWN, M.T.; SHEPERD, K.D. Estimating the environmental costs of soil erosion at multiple scales in Kenya using energy synthesis. *Agricultural Ecosystems & Environment*, n.114, p.249-269, 2006.

COHEN, M.J., SWEENEY, S., BROWN, M. H., – Theory and applications of the energy methodology – energy evaluations of technology and sustainability – computing the unit energy value of crustal elements. *Energy Synthesis* 4, cap. 16, p. 1-12, 2007.

Cotação do preço do estanho em: <http://www.shockmetais.com.br/index.php/lme> acessado em 03 de março/2009.

CHRISTOPHER, M. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos – Estratégias para Redução de Custos e Melhoria dos Serviços*. 1. ed. São Paulo: Editora Pioneira, 1997.

DEUBZER, O; HAMANO H.; SUGA, T; Griese, H., Lead-Free Soldering, Toxicity, Energy And Resource Consumption. *Fraunhofer IZM, Berlin, Germany*, p. 290-295, 2001.

DIAS, M. *Administração de Materiais: uma abordagem logística*. 4.ed. São Paulo: Atlas, 1993. 399 p. ISBN 85-224-0995-1.

Diretiva 2002/95/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Janeiro de 2003 – Relativa à restrição do uso de determinadas substâncias perigosas e equipamentos elétricos

e eletrônicos. A nova Política de Substâncias Químicas da União Européia – REACH – ABIQUIM – – – fevereiro de 2007 – – – <http://eur-lex.europa.eu/JOHtml.do?=&OJ:2006:396:SOM:PT:HTML> Acesso em 03 de março/2009.

EKVALL, T; ANDRAE N.S.G. Attributional and Consequential Environmental Assessment of the Shift to Lead-Free Solders. *Lead-Free Solders LCA Methodology*, p. 1-10, 2005.

FILHO N.A. Anotações para conferência proferida em Concurso para Professor Titular de Epidemiologia do Instituto de Saúde Coletiva da Universidade Federal da Bahia, 31 de julho de 1999. *Revista Brasileira de Epidemiologia*, 4.v. , 3, n.1-3, 2000.

FUJINO, M.; SUGA, T. Evaluation of energy consumption of lead-free soldering process Proceedings of Eco Design 2003: Third International Symposium on Environmentally Conscious. *Design and Inverse Manufacturing*, Toquio, Japão, p. 831-835, 2003.

GENONI, G. P.; MEYER, E. I.; ULRICH, A. Energy flow and elemental concentrations in the Steina River ecosystem (Black Forest, Germany). *Aquatic Sciences*, v. 65, p.143-157, 2003.

GIANNETTI, B.F.; BARRELLA, F.N.; ALMEIDA, C.M.V.B. *Ecologia Industrial*. 1. ed. São Paulo: Edgard Blüncher, 2006.

GIANNETTI, B.F.; BONILLA, S.H.; SILVA, I.R.; ALMEIDA, C.M.V.B. Cleaner production practices in a medium size gold-plated jewelry company in Brazil: when little changes make the difference. *Journal of Cleaner Production*, 16 (10), p.1106-1117, 2008.

GRAEDEL, T.E; ALLENBY, B.R. *Industrial Ecology*. 1. ed. New Jersey: A Simon & Schuster Company, cap. 12, p. 173-182, 1995.

ITSUBO, N.; KUBO T.; NOH J.; INABA A. An estimate of the transaction of environmental impacts as a result of switching to pb-free solder, *International Journal of Life-Cycle Assessment*, p. 259-260, 2005.

ITSUBO,N.; NOH, J.; HAYASHI K.; INABA, A. Demage assessement of human healt of lead-free based on endpoint-tipe lcia metodology. *EcoDesign2003/3E-9*, Tóquio, Japão, p. 836-838, dez. 8 -112003.

KU, A.; OGUNSEITAN, O.; SAPHORES, J. D.; SHAPIRO, A.; SCHOENUNG, S.R. Lead-free solders: issues of toxicity, availability and Impacts of extraction. *Electronic Components and Technology Conference*, p. 47-53, 2003.

LEITE, P. R. *Logística reversa: meio ambiente e competitividade*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003. 250 p. ISBN 85-87918-62-1.

MA, J.; CHEN, G. Lead-Free Solder Materials for Sustainable Development of Green Electronics in China – *6th International Conference on Electronic Packaging*, p.1-6, 2005.

MIRAGLIA, S.G.K; SALDIVA, P.H.N. An evaluation of air pollution health impacts and costs in São Paulo, Brazil. *Environmental Management*. v. 35, n. 5, pag. 667–676, 2005.

ODUM, H. T. *Environmental accounting: energy and environmental decision making*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1996.

OKAMOTO, M.; SERIZAWAL, K.; SATOH, H.; CHIBA M.; TAKAMATSU, T.; ITSUBO, N.; INABA, A. Overall Technological Results of IMS-EFSOT. *Japanese Project in Environmental Impact of Lead-Free Soldering*, p. 554-558, 2005.

PERASSI N.C.P. *Manual de Soldas Brandas – Estanho – Chumbo – A teoria da Soldagem (Soldering)*, Gráfica de Edições Paulinas, 1990.

PITTS, G.A; MIZUKI, C. View of electronic products disposition. *Electronics Industry Environmental Roadmap*, Produced by MCC, p. 660-7803-2950, 1996.

RALOFF, J. Mercurial Risks acid's, *New Scientist*, v.139, March 9, 1991.

REUTER, M. N.; E VERHOEF, W.V. A dynamic model for the assessment of the replacement of lead in solders. *Journal of electronic materials*, v 33, n. 12, 2004.

ROMANELLI, T.L. *Sustentabilidade emergética em um sistema de produção da cultura de eucalipto ESALQ/ USP*. 2007. Tese (Doutorado em recursos florestais) – Escola Superior de Agricultura 'Luiz de Queiroz', USP - Universidade de São Paulo, São Paulo.

SEGERBERG, T; HEDEMALM, P. Life cycle assessment of tin-lead solder and silver-epoxy conductive adhesive, *The Swedish Institute of Production Engineering Research*, p. 64-65,1996.

SEIFFERT, M.E.B, *ISO14001 – Sistemas de Gestão Ambiental*. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

SOCOLOF, M. L.; GEIBIG, J.R. Life-cycle impacts of lead and lead-free solder used in wave. *Soldering in electronics*, EPA-744-S-05-001, p. 96-101 , 2005.

SOCOLOF, M.L.; *Solders in Electronics: A life – Cycle Assessment Summary*, United States – EPA – Environmental Protection Agency, EPA-744-5-05-001 – August, 2005.

TIEZZI, E., BASTIANONI, S. AND MARCHETTINI, N., Environmental cost and steady state: the problem of adiabaticity in the energy value. *Ecological Modelling*. 90 1, p. 33–37. 1996.

TILLEY, D. R. *Energy Basis of Forest Systems*. 1999. 310 f. Tese de Doutorado –University of Florida, U.S.A.

THORNTON, K; YU H; VAN, K, Ven, D. Theory of grain boundary diffusion induced by the Kirkendall effect – *Applied Physics Letters*, v. 93, 091908, DOI: 10.1063/1.2978161, 2008.

TOWNSEND, T.; MUSSON, S.; DUBEY, B.; PEARSON, B. Leachability of printed wire boards containing leaded and lead-free solder . *Journal of Environmental Management*, 88 p. 926–931, 2008.

TURBINI,L.J.; Processing and material issues related to lead-free soldering, *Science+Business Media, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada*, DOI 10.1007/s10854-006-9014-6 , p. 147-154,2006.

TURBINI,L.J.; MUNIE,G.C.; KESTER,D.B; GAMALSKI, J. *Examining the environmental impact of lead-free soldering alternatives*, *Journal of SMT, University of Toronto Center for Microelectronic Assembly and Packaging in the Metallurgy & Material Science Department*, 0-7803-5962-3/00, p. 146-153, 2000.

ULGIATI,S.; ODUM,H.T.; BASTIANONI,S. Energy use, environmental loading and sustainability. An energy analysis of Italy. *Ecological Modelling*, n.73: p. 215-268, 1994.

ULGIATI,S.; BROWN,M.T. Quantifying the environmental support for dilution and abatement of process emissions – The case of eletricity production. *Journal of Cleaner Production*, v.10, p. 335-348, 2002.

UKIDWE, N. U.; BAKSHI, B. R. Thermodynamic accounting of ecosystem contribution to economic sectors with application to 1992 U.S. economy. *Environmental Science & Technology*, v.38, p.4810-4827, 2004.

WANG,L.; ZHANG,J.; NI,W. Emergy evaluation of combined heat and power plant eco-industrial park (CHP plant EIP). *Publication Press. Resources, Conservation and Recycling*, n.189: p. 233-240, 2005.

ZHANG,X.; JIANG W.; DENG, S.; PENG,K. Emergy evaluation of the sustainability of Chinese steel production during 1998-2004. *Journal of Cleaner Production*, 17, p. 1030-1038, 2009.

ZHOU, X.; SCHOENUNG, J. M. An integrated impact assessment and weighting methodology: evaluation of the environmental Consequences of Lead-Free Solder Alternatives. *Journal of Environmental Management, University of California, Davis, CA 95616, USA*, p. 1-6, 2008.

10. ANEXOS

ANEXO 1

O consumo de energia elétrica foi calculado com a média da utilização pela empresa nos anos 2006 e 2007, através das notas fiscais de consumo, transformadas em joules/ ano na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade da energia elétrica da referência bibliográfica Tilley, 2000.

Tabela A1. Cálculo do consumo da energia elétrica para avaliação da emergia.

		%	Consumo médio		Fator de Conversão J/s		Fator de Conversão s/h		J/ano - Valor				
TOTAL	=	100	X	$5,36 \times 10^3$	kw/ h	X	$1,00 \times 10^3$	J/ s	X	$3,60 \times 10^3$	s/h	=	$1,93 \times 10^{12}$
63Sn X 37Pb	=	0,31 4	X	$5,36 \times 10^3$	kw/ h	X	$1,00 \times 10^3$	J/ s	X	$3,60 \times 10^3$	s/h	=	$6,07 \times 10^9$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	=	0,02 3	X	$5,36 \times 10^3$	kw/ h	X	$1,00 \times 10^3$	J/ s	X	$3,60 \times 10^3$	s/h	=	$4,46 \times 10^8$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	=	0,11 6	X	$5,36 \times 10^3$	kw/ h	X	$1,00 \times 10^3$	J/ s	X	$3,60 \times 10^3$	s/h	=	$2,26 \times 10^9$

ANEXO 2

O consumo de GLP foi calculado com a média de 576 kg/mês, nos anos de 2006 e 2007, através das notas fiscais de consumo, transformadas em joules/ano, na proporção de cada liga, na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade do GLP da referência bibliográfica Wang, 2005.

Tabela A2. Cálculo do consumo do GLP consumido para avaliação da emergia.

Média 2006/2007	% por liga	J/ano - GLP/liga
Outras Ligas	60,44%	$2,01 \times 10^{11}$
63Sn X 37PB	31,47%	$1,05 \times 10^{11}$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$7,67 \times 10^9$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$3,88 \times 10^{10}$

ANEXO 3

O consumo de caixas de papelão foi calculado com a média de 328 kg/mês, nos anos de 2006 e 2007, através das notas fiscais de consumo, transformadas em g/ano, na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade do papelão e papel da referência bibliográfica Ulgiati, 1994.

Tabela A3. Cálculo do consumo do papelão e papel sulfite para avaliação da emergia.

Média 2006/2007	% por liga	g/ano de Papelão /liga
Outras Ligas	60,44%	$2,38 \times 10^6$
63Sn X 37PB	31,47%	$1,24 \times 10^6$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$9,07 \times 10^4$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$4,59 \times 10^5$

ANEXO 4

O consumo de óleo lubrificante foi calculado com a média de 12 l/mês, nos anos de 2006 e 2007, através das notas fiscais de consumos, transformadas em J/na, na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade do óleo lubrificante da referência bibliográfica Odum, 1996.

Tabela A4. Cálculo do consumo do óleo lubrificante para avaliação da emergia

Média 2006/2007	% por liga	J/ano - Óleo /liga
Outras Ligas	60,44%	$3,53 \times 10^9$
63Sn X 37PB	31,47%	$1,84 \times 10^9$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$1,35 \times 10^8$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$6,82 \times 10^8$

ANEXO 5

A transformidade da Mão de Obra foi calculada com base na transformidade da referência bibliográfica Coelho, 2002, que apresenta a população brasileira do IBGE – 2006, considerando-se uma média de consumo de 3000 Kcal/dia por operário, nos anos de 2006 e 2007, transformadas em J/ano na proporção de cada liga na produção. Para manutenção da fábrica foram considerados dois técnicos de manutenção, que atuam junto aos operários, considerados nos itens 9 das tabelas 13, 14 e 15, dados utilizados para a avaliação em emergia.

Tabela A5 - Cálculo da transformidade da mão de obra, para avaliação da emergia, Coelho et al. (2002).

Cálculo da Transformidade da Mão de Obra Brasileira (TMO BR)

Valores de Emergia do Trabalho	Unidade	Valores
Total de emergia solar	sej	$2,77 \times 10^{24}$
População total do Brasil (IBGE 2006)	hab	$1,88 \times 10^8$
Energia metabólica diária (E metab)	J	$1,26 \times 10^7$
Transformidade do Trabalho Humano	sej/J	$4,49 \times 10^6$
Dias Úteis no Ano	dias	260

Cálculo da transformidade (Sej/J) da mão de obra brasileira.

$$\text{TMO BR} = \frac{\text{Emergia Solar Total}}{\text{população} \times \text{E metab} \times 260 \text{ dias úteis}} = \frac{2,77 \times 10^{24}}{1,88 \times 10^8 \times 1,26 \times 10^7 \times 260 \text{ dias}} = 4,49 \times 10^6 \text{ Sej/J}$$

Tabela A5a. Distribuição em % para cada liga em estudo

Ligas	%	Distribuição	g/ano - Manutenção
Outras Ligas	60%	$5,92 \times 10^{10}$	$3,95 \times 10^9$
63Sn X 37PB	31%	$3,08 \times 10^{10}$	$2,05 \times 10^9$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2%	$2,26 \times 10^9$	$1,51 \times 10^8$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	12%	$1,14 \times 10^{10}$	$7,61 \times 10^8$

Cálculo do consumo em (J) por colaborador.

$$\text{Total } 30 \text{ pessoas} \times 3000 \text{ Kcal/dia por pessoa} \times 4,19 \times 10^3 \frac{\text{J}}{\text{Kcal}} = 9,80 \times 10^{10} \text{ J}$$

ANEXO 6

O consumo de carretéis de plástico foi calculado com a média de 6,03 E+07 g/ano, nos anos de 2006 e 2007, através das notas fiscais de simples remessa, transformadas em g/ano, na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade do plástico da referência bibliográfica Brandt, 2002.

Tabela A6. Cálculo do consumo dos carretéis plásticos para avaliação da emergia.

Média 2006/2007	%	g/ ano - carretéis/ liga
Outras Ligas	60,44%	$3,65 \times 10^7$
63Sn X 37PB	31,47%	$1,90 \times 10^7$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$1,39 \times 10^6$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$7,03 \times 10^6$

ANEXO 7

O consumo de panos de algodão foi calculado com a média de 6,48 E+03 g/ano, nos anos de 2006 e 2007, através das notas fiscais, transformadas em g/ano na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade do algodão da referência bibliográfica Odum, 1996.

Tabela A7. Cálculo do consumo dos panos de algodão (para limpeza) para avaliação da emergia.

Média 2006/2007	%	g/ano - panos/ liga
Outras Ligas	60,44%	$3,92 \times 10^3$
63Sn X 37PB	31,47%	$2,04 \times 10^3$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$1,49 \times 10^2$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$7,56 \times 10^2$

ANEXO 8

O consumo de ácidos para análise em laboratório foi calculado com a média em litros/ano, nos anos de 2006 e 2007, através das notas fiscais, transformada em g/ano, na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade dos produtos químicos da referência bibliográfica Odum, 1996.

Tabela A8. Cálculo da transformidade dos insumos para o laboratório químico, para avaliação da emergia.

Produtos Químicos para Análise em Laboratório (l/ano para g/ano)							
Acido clorídrico							
240		X	1,18	— g cm ³ —	X	1000	— cm ³ l— = 2,83 X 10 ⁵ g
Acido sulfúrico							
60		X	1,84	— g cm ³ —	X	1000	— cm ³ l— = 1,10 X 10 ⁵ g
Acido nítrico							
36		X	1,4	— g cm ³ —	X	1000	— cm ³ l— = 5,04 X 10 ⁴ g
Acido fluorídrico							
12		X	1,55	— g cm ³ —	X	1000	— cm ³ l— = 1,86 X 10 ⁴ g
63SnX37Pb							
Acido clorídrico	=	0,3147	% dessa liga	X	2,83 X 10 ⁵	g	= 8,91 X 10 ⁴ g
Acido sulfúrico	=	0,3147	% dessa liga	X	1,10 X 10 ⁵	g	= 3,47 X 10 ⁴ g
Acido nítrico	=	0,3147	% dessa liga	X	5,04 X 10 ⁴	g	= 1,59 X 10 ⁴ g
Acido fluorídrico	=	0,3147	% dessa liga	X	1,86 X 10 ⁴	g	= 5,85 X 10 ³ g
96,5Snx3Agx0,5Cu							
Acido clorídrico	=	0,023	% dessa liga	X	2,83 X 10 ⁵	g	= 6,51 X 10 ³ g
Acido sulfúrico	=	0,023	% dessa liga	X	1,10 X 10 ⁵	g	= 2,54 X 10 ³ g
Acido nítrico	=	0,023	% dessa liga	X	5,04 X 10 ⁴	g	= 1,16 X 10 ³ g
Acido fluorídrico	=	0,023	% dessa liga	X	1,86 X 10 ⁴	g	= 4,28 X 10 ² g
99Snx0,3AgX0,7Cu							
Acido clorídrico	=	0,1166	% dessa liga	X	2,83 X 10 ⁵	g	= 3,30 X 10 ⁴ g
Acido sulfúrico	=	0,1166	% dessa liga	X	1,10 X 10 ⁵	g	= 1,29 X 10 ⁴ g
Acido nítrico	=	0,1166	% dessa liga	X	5,04 X 10 ⁴	g	= 5,88 X 10 ³ g
Acido fluorídrico	=	0,1166	% dessa liga	X	1,86 X 10 ⁴	g	= 2,17 X 10 ³ g

ANEXO 9

O consumo de água foi calculado com a média de consumo de 280m³/ano nos anos de 2006 e 2007, através das notas fiscais, transformada em g/ano, na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade da água da referência bibliográfica Caruso, 2001.

Tabela A9. Cálculo do consumo da água pelos processos, para avaliação da emergia.

Média 2006/2007	%	g/ano por liga
Outras Ligas	60,44%	$2,03 \times 10^9$
63Sn X 37PB	31,47%	$1,06 \times 10^9$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$7,74 \times 10^7$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$3,92 \times 10^8$

ANEXO 10

O consumo de aço dos equipamentos foi calculado pela estimativa de seu peso, visto que alguns desses equipamentos têm mais de 30 anos de uso, assumindo-se uma média de consumo de 280m³/ano nos anos de 2006 e 2007, transformadas em g/ano, na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade do aço da referência bibliográfica Cohen, 2006, para uma vida útil de 10 anos.

Tabela A10. Cálculo do consumo do aço utilizado por máquinas e equipamentos para avaliação da emergia.

Média 2006/2007	%	g/ano - Máquinas e equipamentos
Outras Ligas	60,44%	$5,72 \times 10^5$
63Sn X 37PB	31,47%	$2,98 \times 10^5$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$2,18 \times 10^4$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$1,10 \times 10^5$

ANEXO 11

O consumo de chapas de aço das embalagens para a logística reversa foi calculado pela estimativa de seu peso, assumindo-se uma média de consumo de 820 g/ano nos anos de 2006 e 2007, transformadas em g/ano, na proporção de cada liga na produção para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade da chapa de aço da referência bibliográfica Cohen, 2006, para uma vida útil de 5 anos.

Tabela A11. Cálculo do consumo do aço para caixas metálicas para retorno de borra para avaliação em emergia.

Média 2006/2007	%	g/ano - Caixa Metálicas
Outras Ligas	60,44%	$9,91 \times 10^4$
63Sn X 37PB	31,47%	$5,16 \times 10^4$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$3,78 \times 10^3$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$1,91 \times 10^4$

ANEXO 12

O consumo de tijolos refratários (cerâmica) dos fornos de fusão e refusão foram calculados pela estimativa de seu peso, assumindo-se uma vida média de 5 anos, transformada em g/ano, na proporção de cada liga na produção em suas proporções correspondentes e para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade da chapa de aço da referência bibliográfica Cohen, 2006.

Tabela A12. Cálculo do consumo da cerâmica para os cadinhos de fusão e refusão para avaliação em emergia.

Média 2006/2007	%	g/ano - Cadinho de Fusão	g/ano - Cadinho de Refusão
Outras Ligas	60,44%	$7,25 \times 10^4$	$2,42 \times 10^4$
63Sn X 37PB	31,47%	$3,78 \times 10^4$	$1,26 \times 10^4$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$2,77 \times 10^3$	$9,22 \times 10^2$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$1,40 \times 10^4$	$4,66 \times 10^3$

ANEXO 13

O consumo de aço estrutural e telhas de aço zincadas foi calculado pela estimativa de seu peso, transformado em g/ano, na proporção de cada liga na produção e para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade da chapa de aço da referência bibliográfica Cohen, 2006, para uma vida útil de 25 anos.

Tabela A13. Cálculo do consumo do aço para estrutura de aço dos telhados e telhas zincadas para avaliação em emergia.

Total	100%	$2,37 \times 10^6$	kg	$2,37 \times 10^9$	g/ano
63SnX37PB	31,47%	$7,45 \times 10^5$	kg	$2,98 \times 10^7$	g/ano
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	2,30%	$1,72 \times 10^4$	kg	$6,87 \times 10^5$	g/ano
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	11,66%	$2,00 \times 10^3$	kg	$8,01 \times 10^4$	g/ano

ANEXO 14

O consumo de tijolos de concreto e do concreto das fundações e lajes foi calculado pela estimativa de seu peso, pelo número de blocos em um metro quadrado, para um pé direito de 4m em média, para 230m de extensão linear das paredes do edifício. Foram transformados em g/ano, na proporção de cada liga na produção e para utilização na avaliação em emergia, conforme transformidade do concreto da referência bibliográfica Cohen, 2006, para uma vida útil de 25 anos.

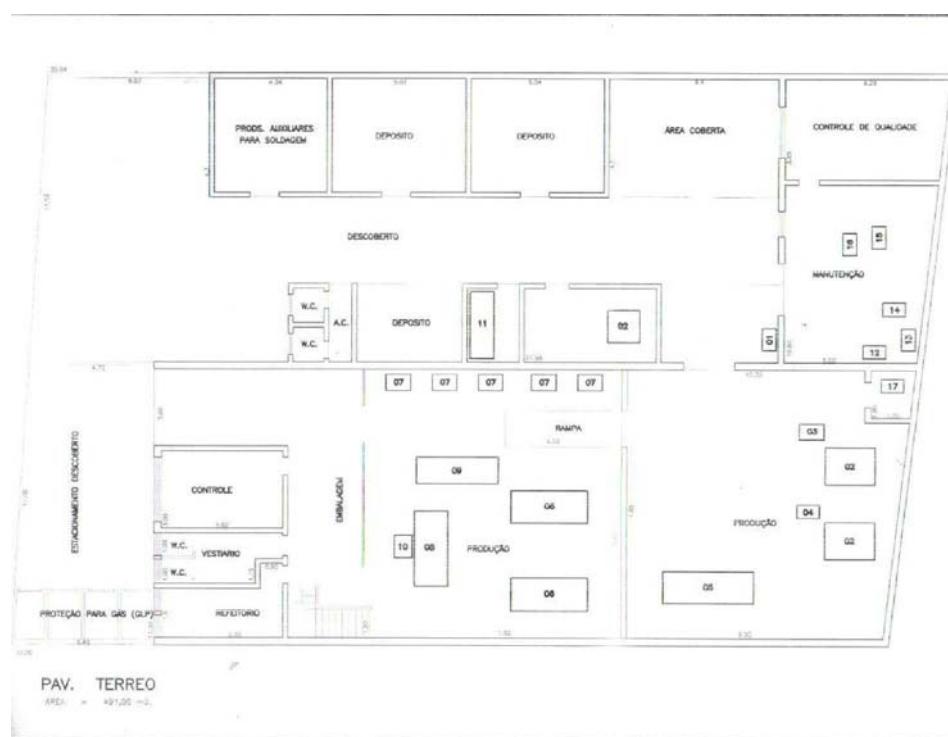


Figura A14. Planta baixa do Edifício Industrial da Cast.

Tabela A14. Cálculo do consumo do concreto para construção civil do edifício industrial para avaliação em emergia.

Liga	%	kg/bloco	Blocos		g/kg	g/ano
					ano	
TOTAL	=	100,00%	X	$1,36 \times 10^1$	X	12369
63Sn X 37Pb	=	31,47%	X	$1,36 \times 10^1$	X	12369
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	=	2,00%	X	$1,36 \times 10^1$	X	12369
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	=	11,66%	X	$1,36 \times 10^1$	X	12369

Cálculo da quantidade de concreto

$$\frac{230 \text{ m}}{(\text{Pé direito de } 4 \text{ m})} = \frac{589}{21} \text{ Blocos} = 12.369 \text{ Blocos} \times \frac{1,36 \times 104}{25} \text{ g} = 6,73 \times 10^6 \text{ g/ano}$$

ANEXO 15

Modelo de uma instrução de trabalho da Cast Metais e Soldas.

PREPARAÇÃO DAS MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	E.P.I.	MATERIAIS	DESCRÍÇÃO	EXECUÇÃO	VERIFICAÇÃO
<ul style="list-style-type: none"> • Balanças • Carrinhos • Fornos • Formas • Moldes • Conchas • Tachos • Pirômetros • Cortadeira • Tarugadeira • Agitador 		<ul style="list-style-type: none"> • uniformes • luvas de raspa • avental • botas/ biqueiras • óculos protetores • máscara protetora • proteção auricular 	<ul style="list-style-type: none"> • Estanho • Chumbo • Antimônio • Prata • Cobre • Zinco <p>Pesar as matérias-primas, iniciar a carga do forno com os materiais para recuperação, regulando a temperatura do forno em 400 °C, aproximadamente. Aguardar a fusão do material (formação de líquido), regulando a temperatura conforme IT 560. Obs. Adicionar o Estanho por último.</p>		<p>Verificar o peso dos materiais que compõem a liga, de acordo com a RQ 530 – Ficha de Planejamento de Controle de Produção. Verificar se os elementos de liga estão dentro do especificado para cada carga, segundo as normas ASTM, ABNT ou especificações dos clientes aplicáveis. Executar os cálculos, anotar os valores nos registros de Cálculo de Carga e Controle de produção de Ligas.</p>

ANEXO 16

Tabela A16. Referências bibliográficas das transformidades dos materiais e insumos para fabricação de soldas leves.

Item	Referência bibliográfica	Número do anexo
Implantação		
1 Estanho	Cohen, 2007.	-
2 Chumbo	Cohen, 2007.	-
23 Prata	Cohen, 2007.	-
24 Cobre	Cohen, 2007.	-
3 Sucatas	Cohen, 2007.	1
4 Retorno de borra	Cohen, 2007.	1
5 Energia elétrica	Tilley, 2000.	2
6 GLP	Wang, 2005.	3
7 Papelão	Ulgjati, 1994.	4
8 Óleo lubrificante	Odum, 1996.	5
9 Mão de obra	Coelho, 2002.	6
10 Carretéis plásticos	Brant, 2002.	7
11 Panos de limpeza	Odum, 1996.	8
12 Ácido Clorídrico	Odum, 1996.	9
13 Ácido Sulfúrico	Odum, 1996.	9
14 Ácido Nítrico	Odum, 1996.	9
15 Ácido Fluorídrico	Odum, 1996.	9
16 Consumo de água	Caruso, 2001.	10
Manutenção		
17 Máquina e equipamentos	Cohen, 2006.	11
18 Caixas metálicas para manuseio de borras	Cohen, 2006.	12
19 Cadiño	Cohen, 2006.	13
20 Cadiño reserva	Cohen, 2006.	13
21 Estrutura metálica do telhado	Cohen, 2006.	14
22 Construção civil	Cohen, 2006.	15
9 Mão de obra	Coelho, 2002.	6

As transformidades da borra e sucatas de estanho foram calculadas com as transformidades dos materiais conforme referência bibliográfica Cohen, 2007 e considerando a composição em percentagem de cada liga.

ANEXO 17

Tabela A17. Cálculo da transformidade do retorno de borra (sucata) para avaliação em emergia.

Ligas	Transformidades da Matéria Primas				J/ano
	Sn	Pb	Ag	Cu	
63Sn X 37Pb	$1,70 \times 10^{12}$	$4,80 \times 10^{11}$	-	-	$1,25 \times 10^{12}$
96,5Sn X 3Ag X 0,5Cu	$1,70 \times 10^{12}$	-	$4,50 \times 10^{11}$	$9,80 \times 10^{10}$	$1,65 \times 10^{12}$
99Sn X 0,3Ag X 0,7Cu	$1,70 \times 10^{12}$	-	$4,50 \times 10^{11}$	$9,80 \times 10^{10}$	$1,69 \times 10^{12}$

ANEXO 18

Cálculo do DALY na Cast Metais e Soldas Ltda.

Tabela A18. Valores dos DALYs retirados da literatura

Andrae, 2008		Sacolof, 2005		
	kg/ kg de solda	kg/ 1000cm ³ de solda		
DALY/kg emissão	Pb ar	CO ₂	SO _x	MP*
	1,92 x 10 ⁻²	2,10 x 10 ⁻⁷	5,46 x 10 ⁻⁷	3,74 x 10 ⁻⁵

*média (>10µm e < 2,5µm)

Tabela A18a. Valores das emissões na manufatura retiradas da literatura para produção das soldas (Itsubo, 2003 e Socolof, 2005), considerada a produção média da empresa para os anos de 2006 e 2007.

Itsubo, 2003		Socolof, 2005		
Liga	kg/ kg de solda	kg emissão/kg solda		
	Pb ar	CO ₂	SO _x	MP*
SnPb	0,0006	16,38135	0,0922	0,010242
SAC		9,179592	0,077646	0,005218

Tabela A18b. DALYs para a manufatura das soldas, considerando a produção média da empresa para os anos de 2006 e 2007.

Liga	DALY's /kg solda				
	Pb ar	CO2	SOx	MP	anos/kg
SnPb	1,15 X 10 ⁻⁵	3,44 X 10 ⁻⁶	5,03 X 10 ⁻⁸	3,83 X 10 ⁻⁷	1,54 X 10 ⁻⁵
SAC		1,93 X 10 ⁻⁶	4,24 X 10 ⁻⁸	1,95 X 10 ⁻⁷	2,17E X 10 ⁻⁶

ANEXO 19

Cálculo do DALY na Cast Metais e Soldas Ltda; considerado todo o ciclo de vida do produto.

Tabela A19. Emissões por quilograma de solda produzida para todo o ciclo de vida das soldas, considerada a produção média da empresa para os anos de 2006 e 2007.

kg emissão/kg solda				
SnPb	Pb ar	CO2	SOx	MP
Upstream		84,41558	0,554899646	0,125738
Manufatura	0,0006	16,38135	0,0922	0,010242
Uso/Aplicação	0,0006	175,6198	1,407910272	0,08353
Descarte		1,016824	0,007172373	0,000506

SAC	Pb ar	CO2	SOx	MP
Upstream		408,5714	17,63401361	2,493878
Manufatura		9,179592	0,077646259	0,005218
Uso/Aplicação		212,2449	1,706802721	0,101347
Descarte		1,066531	0,007517007	0,000531

Tabela A19a. DALYs para todo o ciclo de vida das soldas considerando a produção média da empresa para os anos de 2006 e 2007.

DALY/kg solda					
SnPb	Pb ar	CO2	SOx	MP	anos/kg
Upstream		1,77 X 10 ⁻⁵	3,03 X 10 ⁻⁷	4,70 X 10 ⁻⁶	2,27 X 10 ⁻⁵
Manufatura	1,15 X 10 ⁻⁵	3,44 X 10 ⁻⁶	5,03 X 10 ⁻⁸	3,83 X 10 ⁻⁷	1,54 X 10 ⁻⁵
Uso/Aplicação	1,15 X 10 ⁻⁵	3,69 X 10 ⁻⁵	7,69 X 10 ⁻⁷	3,12 X 10 ⁻⁶	5,23 X 10 ⁻⁵
Descarte		2,14 X 10 ⁻⁷	3,92 X 10 ⁻⁹	1,89 X 10 ⁻⁸	2,36 X 10 ⁻⁷

SAC	Pb ar	CO2	SOx	MP	anos/kg
Upstream	-	8,58 X 10 ⁻⁵	9,63 X 10 ⁻⁶	9,33 X 10 ⁻⁵	1,89 X 10 ⁻⁴
Manufatura	-	1,93 X 10 ⁻⁶	4,24 X 10 ⁻⁸	1,95 X 10 ⁻⁷	2,17 X 10 ⁻⁶
Uso/Aplicação	-	4,46 X 10 ⁻⁵	9,32 X 10 ⁻⁷	3,79 X 10 ⁻⁶	4,93 X 10 ⁻⁵
Descarte	-	2,24 X 10 ⁻⁷	4,10 X 10 ⁻⁹	1,98 X 10 ⁻⁸	2,48 X 10 ⁻⁷

ANEXO 20

Cálculo da quantidade de recursos não renováveis (NR) empregados na obtenção de 1 kg de solda (considerando todo o ciclo de vida do produto)

Tabela A20. Comparando as soldas produzidas com os recursos não renováveis.

kg NR/kg solda

	SnPb	SAC	SAC/SnPb
Upstream	65,82054	898,5034014	13,7
Manufatura	35,41913	20,5170068	0,6
Uso/Aplicação	361,5702	438,6394558	1,2
Descarte	2,0366	2,140136054	1,1