UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA
MESTRADO EM ECONOMIA

JULIA TRINDADE ALVES DE CARVALHO

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E ROTAS TECNOLÓGICAS DE RECICLAGEM PARA A CIDADE DE SALVADOR

Salvador
2013

JULIA TRINDADE ALVES DE CARVALHO

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E ROTAS TECNOLÓGICAS DE RECICLAGEM PARA A CIDADE DE SALVADOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

Linha de pesquisa: Resíduos Sólidos Urbanos, Reciclagem e Meio Ambiente.

Orientador: Profº. Drº. Gervásio Ferreira dos Santos

Salvador
2013

C331 Carvalho, Julia Trindade Alves de.

Política nacional de resíduos sólidos e rotas tecnológicas de reciclagem para a cidade de Salvador/ Julia Trindade Alves de Carvalho. Salvador, 2013.

162 f.; Il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Economia. Orientador: Prof. Drº Gervásio Ferreira dos Santos.

1. Salvador – resíduos sólidos. 2. Reciclagem. 3. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 4. Tecnologias de reciclagem – rotas. 5. Políticas ambientais. I. Universidade Federal da Bahia. II. Santos, Gervásio Ferreira dos. III. Título.

CDD: 628.445

JULIA TRINDADE ALVES DE CARVALHO

POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E ROTAS TECNOLÓGICAS DE RECICLAGEM PARA A CIDADE DE SALVADOR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Economia.

BANCA EXAMINADORA

Profº. Drº. Gervásio Ferreira dos Santos
(Orientador – Universidade Federal da Bahia)

Profª. Drª. Henrique Tomé da Costa Mata
(Membro interno – Universidade Federal da Bahia)

Profª. Drª. Jardel Gonçalves Pereira
(Membro externo – Universidade Federal da Bahia)

Universidade Federal da Bahia
Faculdade de Economia
Programa de Pós-Graduação em Economia
Mestrado e Doutorado em Economia

TERMO DE APROVAÇÃO

JÚLIA TRINDADE ALVES DE CARVALHO

"POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E ROTAS TECNOLÓGICAS DE RECICLAGEM PARA A CIDADE DE SALVADOR"

Aprovada em 19 de dezembro de 2013

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Economia pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. GERVÁSIO FERREIRA DOS SANTOS (ORIENTADOR)
(PPGE/ECO/UFBA)

Prof. Dr. HENRIQUE TOMÉ DA COSTA MATA
(PPGE/ECO/UFBA)

Prof. Dr. JARDEL PEREIRA GONÇALVES
(MEAU/ENG/UFBA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Cléo Carvalho, que sempre esteve ao meu lado, me apoiando e incentivando, incondicionalmente, com todo amor dessa vida. Ao meu irmão Diogo, quem, literalmente, nasceu e cresceu junto a mim, se tornando um grande exemplo de sapiência e fraternidade.

Ao meu pai, Roberto Carvalho, que me disse as frases mais contundentes e inspiradoras, contribuindo decisivamente para que eu chegasse aqui e além. À "minha tia Leda", minha segunda mãe, e à sua filha e minha prima-irmã, "Gaia"!

Aos meus colegas mestres, que compuseram uma turma impar em inteligência e solidariedade: Sydenia, Conrado, Emerson, Erica, casal germânico Eskeresky - Hank, Laura, Leidisangela, Lucas, Bernardo e Tyago. Aos colegas e amigos da vida, que contribuíram para a minha formação humana e acadêmica, em períodos diversos: Geovana Guedes, Itana Maria, Magali Alves, Jamilly Dias, Guillermo Etkin, Gileno Jr, Elder Arimatéia, Joao Teixeira, Gustavo Delmont, Enio Antunes, Léa Santana, Andréa Gama, Glaucia Lara, Rodrigo Carneiro, Ronaldo Lyrio, Luis Carlos de Andrade.

À turma do fundão: Daniela Vieira, Isabelle Duplat, Manuela Vidal, Patricia Canário, Mauricio Vieira, Tiago Phileto, Miguel Phileto. Simplesmente, vocês são parte do meu "DNA".

Agradeço imensamente ao professor e amigo, Dr. Joao Damásio de Oliveira Filho, a quem terei eterna gratidão. Obrigada por ter me dado a oportunidade de trabalhar, estudar e aprender com a sua genialidade, brilhantismo e honestidade acadêmica. A nossa convivência foi um divisor de águas na minha formação e algo que muito orgulha.

À minha querida amiga Ana Cristina Sacramento por ter me suportado e me ajudado em tudo, sempre que precisei.

Ao professore Dr. Henrique Tomé da Costa Mata, por suas impagáveis contribuições à parte teórica deste trabalho. Ao professor Dr. Jardel Gonçalves Pereira pelas oportunas contribuições aos aspectos técnicos, imprescindíveis para a contextualização do argumento econômico aqui apresentado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (Capes), pela disponibilização da bolsa para realização do mestrado. Aos profissionais da Secretaria do Programa de Pós Graduação em Economia da UFBA, pelo apoio e presteza nos tramites burocráticos.

Ao meu querido amigo e co-orientador Roberto Maximiano Pereira que nos momentos mais difíceis desta tese e em outros tantos da vida, acreditou no meu potencial, me ajudou na solução de problemas centrais e me fez parecer menos só nesta caminhada. Ao grande amigo Luis Carlos Santana Ribeiro, um grande parceiro, pelas suas tempestivas intervenções na forma e conteúdo deste trabalho.

Finalmente, agradeço ao meu orientador, Prof. Gervásio Ferreiro dos Santos. Primeiramente, por ter acreditado em mim de olhos fechados, abraçando as minhas idéias como verdadeira maestria. E, principalmente, por ter sido o meu farol metodológico nesse

pantanoso caminho dissertativo. É uma honra e um privilégio imenso fazer parte do seu disputado time de orientandos.

Meus agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram com esta pesquisa.

Dedico este trabalho

à minha família, razão de minha existência:
Mãe (Cleo), pai (Roberto), Diogo, Laís,
Vó Alaide (in memoriam), Tia Leda e Gaia.

RESUMO

O objetivo deste trabalho é simular a mudança na estrutura de insumos decorrente da reciclagem de resíduos sólidos urbanos na cidade de Salvador, por meio das rotas tecnológicas de reciclagem mecânica e reciclagem energética. O Brasil passa por um momento de definição das respectivas trajetórias tecnológicas de reciclagem, a partir da aprovação da lei que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. No estado da Bahia, a aplicação dos princípios dessa política ainda é incipiente. A teoria da economia ecológica e do ambiente aponta que as políticas ambientais, dentre as quais se inclui a gestão de resíduos sólidos, devem priorizar os métodos baseados no principio da Ecoeficiencia, que promovam a conservação de energia de baixa entropia, observando a sua viabilidade econômica. Deste modo, a partir da metodologia de analise de Insumo-Produto, o presente trabalho busca comparar as rotas tecnológicas de reciclagem, verificando a mudança na tecnologia de produção proporcionada pela adoção de cada rota. O banco de dados utilizado no trabalho contém informações provenientes das Contas Regionais e Nacionais do IBGE e informações sobre a geração de resíduos sólidos urbanos em Salvador. Os resultados mostraram que a reciclagem mecânica é mais eficiente, do ponto de vista econômico e de conservação dos recursos naturais ao possibilitar uma maior economia de insumos no processo produtivo intersetorial

Palavras-chave: Resíduos Sólidos Urbanos. Reciclagem mecânica. Reciclagem energética. Meio Ambiente. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Analise de Insumo-Produto.

ABSTRACT

The objective of this research is to simulate the change of input structure resulting from the recycling of municipal solid waste in the city of Salvador, through technological routes of mechanical recycling and energy recycling. Brazil is going through a defining moment of their technological trajectories of recycling, starting from the approval of the National Policy of Solid Wasting. In the state of Bahia, the application of the principles of this policy is still in its beginning. The theory of ecological and environment economics guides the environmental policies, among which includes solid waste management, should prioritize methods based on the principle of eco-efficiency, promoting energy conservation, low-entropy, noting its economic viability. From the methodology of input-output analysis, this study seeks to compare the technological recycling routes by checking the change in production technology provided by the adoption of each route. The database used in the paper contains information from the Regional and National Accounts IBGE and information on the generation of municipal solid waste in Salvador. The results showed that mechanical recycling is more efficient from the point of view of economics and natural resources conservation to enable greater savings intersectoral inputs in the production process.

Key – words: Urbans Solid Wastes. Mechanical Recycling. Energy Recycling. Environment. National Solid Waste Policy. Input – Output Anlysis.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Poder calorífico inferior por grupo de RSU 32
Gráfico 2 - Numero de estabelecimentos por CNAE da indústria transformadora de matéria prima reciclável e reciclada, em 2012. 47
Gráfico 3 - Numero de estabelecimentos fabricantes de matérias- primas virgens, no estado da Bahia, 2012 48
Gráfico 4 - Estoque de empregos por setor de atividade produtor de matéria prima virgem. 49
Gráfico 5 - Destino RSU gerado no Brasil e nos países europeus selecionados (em Kgs / habitante /ano) 52
Gráfico 6 - Quantidade de RSU coletada no Brasil, por ano (em milhões de toneladas). 2007 – 2011 59
Gráfico 7 - Distribuição dos resíduos domiciliares e públicos coletados gerados no Brasil, por dia, segundo as Regiões do Brasil 60
Gráfico 8 - Comparação entre participação percentual na quantidade coletada de RSU nacional e participação percentual no PIB nacional, por estado, em 2008 61
Gráfico 9 - Quantidade de RSU (RDO+RPU) coletada por ano em Salvador, em toneladas. 2004- 2011 62
Gráfico 10 - Municípios com coleta seletiva - Comparação 2000 e 2008 64
Gráfico 11 - Custo marginal de abatimento de emissões e os efeitos da inovação tecnológica 81
Gráfico 12 - Composição gravimétrica dos materiais para reciclagem mecânica, em Salvador, ano 2010. 127
Gráfico 13 - CI poupado pela reciclagem de todos os materiais 130
Gráfico 14 - Consumo Intermediário poupado pelo setor 'Fabricação de resina e elastômeros'. 131
Gráfico 15 - Consumo Intermediário poupado pelo setor 'Celulose e produtos de papel'. 132
Gráfico 16 - Consumo Intermediário poupado pelo setor 'Outros da indústria extrativa'. 133
Gráfico 17 - Participação do material no poder calórico para reciclagem energética, no município de Salvador, no ano de 2010 134
Gráfico 18 - Consumo Intermediário poupado pelo setor 'Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana'. 136

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de classificação de Resíduos Sólidos, por origem. 27
Figura 2 - Organograma das principais correntes de pensamento da economia do meio ambiente 71
Figura 3 - Hierarquia das opções de gerenciamento ambiental. 87
Figura 4 - Diagrama esquemático da ordem de prioridade sugerida pela Produção mais Limpa 88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Responsabilidades do Manejo por Tipo de Resíduos 28
Quadro 2 - Processos de reciclagem por tipo de material 30
Quadro 3 - Agregação dos setores da TRU Brasil 106
Quadro 4 - Código SCN e descrição dos 49 setores da matriz 108
Quadro 5 - Principais destaques da PNRS 155

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição gravimétrica e valoração dos RSU para reciclagem mecânica – Salvador, 2010 43
Tabela 2 - Incineração e geração de energia elétrica nos países desenvolvidos, em 2000. 54
Tabela 3 - Potencial energético dos RSU produzidos no município de Salvador, para o ano de 2010 112
Tabela 4 - Valoração da energia potencial dos RSUs gerados em Salvador 116
Tabela 5 - Preços materiais recicláveis - 2010, São Paulo. 118
Tabela 6 - Distribuição setorial dos materiais recicláveis. 119
Tabela 7 - Coeficientes Rasmussen - Hirschman de ligação setorial 124
Tabela 8 - Resultados da redução do VBP CI e VA da reciclagem mecânica. 128
Tabela 9 - Valor da diferença do CI por setor 129
Tabela 10 - Resultados da redução do Valor Bruto da Produção (VBP), Consumo Intermediário (CI) e Valor Adicionado (VA) da reciclagem energética. 135
Tabela 11 - Poder Calorífico Inferior dos grupos de RSU 154
Tabela 12 - Relações algébricas da TRU e matriz Insumo-Produto 157
Tabela 13 - Valores das Contas Regionais: VBP, CI e VA do estado da Bahia, em 2009. 159

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
ACB	Analise Custo - Benefício
ACE	Analise Custo -Efetividade
CNP	Certidões Negociáveis de Poluição
OCB	Classificação Brasileira de Ocupações
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CIISC	Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Recicláveis
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CI	Consumo Intermediário
Cmg	Custo Marginal
LIMPURB	Empresa de Limpeza Urbana de Salvador
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais
GIRS	Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
GWh	Giga-watt hora
GERI	Grupo de Estudos de Relações Intersetoriais
IPI	Imposto sobre Produtos Industrializados
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBAMA	Instituto Nacional do Meio Ambiente
MS	Market Share
MRI	Matriz de Relações Intersetoriais
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MWh	Mega-watt hora
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome
TEM	Ministério do Trabalho e Emprego
MNCR	Movimento Nacional de Catadores de Material Reciclável
PSA	Pagamento por Serviços Ambientais

PSAU	Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos
PAYT	Pay as You Throw
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
PIA	Pesquisa Industrial Anual
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PCI	Poder Calorífico Inferior
PVC	Policloreto de Vinila
PABD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP ou P2	Prevenção à Poluição
PPP	Principio do Poluidor - Pagador
PUP	Principio do Usuário Pagador
P+L	Produção Mais Limpa
PI	Produto Intermediário
PIB	Produto Interno Bruto
KWh	Quilo-watt hora
RAIS	Relatório Anual de Informações Sociais
RDO	Resíduo Sólido de origem Domiciliar
RPU	Resíduos Solido de origem Publica
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SCN	Sistema de Contas Nacionais
SCR	Sistema de Contas Regionais
SLU	Sistema de Limpeza Urbana
SINIR	Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão de Resíduos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre a Saneamento
TRU	Tabela de Recursos e Usos
VA	Valor Adicionado
VBP	Valor Bruto da Produção
WTE	Waste - to - Energy

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 18

2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS 24

2.1 DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS 24

2.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RECICLAGEM MECÂNICA E ENERGÉTICA 28

2.3 CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DA ATIVIDADE ECONÔMICA RECICLADORA 33

2.4 ASPECTOS ECONÔMICOS E INSTITUCIONAIS DAS TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM ENERGÉTICA 35

2.5 ASPECTOS ECONÔMICOS E INSTITUCIONAIS DAS TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM MECÂNICA 40

3 ESTRUTURA ECONÔMICA E INSTITUCIONAL DA CADEIA DE RECICLAGEM 44

3.1 INDÚSTRIA, MERCADO E CADEIA PRODUTIVA DA RECICLAGEM 44

3.2 HISTÓRICO DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS 50

3.3 A RECICLAGEM DE RSU NO MUNDO 51

3.4 LEGISLAÇÃO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS 54

3.5 MANEJO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SALVADOR 58

3.5.1 Manejo e disposição no Brasil 59

3.5.2 Manejo e disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no estado da Bahia 60

3.5.3 Manejo e disposição no município de Salvador 61

3.6 RECICLAGEM ENERGÉTICA E RECICLAGEM MECÂNICA DE ACORDO COM A PNRS 65

4 ECONOMIA AMBIENTAL E RECICLAGEM 70

4.1 ECONOMIA AMBIENTAL: EVOLUÇÃO DAS CORRENTES TEÓRICAS 70

4.2 CORRENTE NEOCLÁSSICA DE ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE: A ECONOMIA AMBIENTAL 72

4.3 A CORRENTE ECOLÓGICA DA ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE 74

4.4 A ABORDAGEM DA ANÁLISE CUSTO – EFETIVIDADE (ACE) 77

4.5 A ECONOMIA AMBIENTAL NA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS 78

4.5.1 O principio do poluidor pagador na Política Nacional de Resíduos Sólidos. 79

4.5.2 Principio do Protetor - Recebedor 83

4.5.3 Ecoeficiência 86

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE RECICLAGEM MECÂNICA E RECICLAGEM ENERGÉTICA 90

4.7 LITERATURA SOBRE APLICAÇÃO DE INSUMO-PRODUTO A RECICLAGEM E DADOS AMBIENTAIS 91
5 CONSTRUÇÃO DE MATRIZES E MÉTODOLOGIA DE AFERIÇÃO DOS EFEITOS DAS ROTAS DE RECICLAGEM 94
5.1 O MODELO BÁSICO DE ANÁLISE INSUMO-PRODUTO 94
5.2 DERIVAÇÃO DA MATRIZ DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS A PARTIR DA TRU 98
5.3 O MÉTODO BIPROPORCIONAL RAS 103
5.4 MRI BAHIA – PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA MRI BAHIA A PARTIR DA VARIANTE DO MÉTODO BI-PROPORCIONAL PARA A PROJEÇÃO DE MATRIZES DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS 104
5.4.1 Construção da matriz Bahia pelo método RAS Biproporcional modificado 104
5.4.2 Detalhamento das informações utilizadas para a construção da MRI Bahia 106
5.5 MÉTODOS DE AFERIÇÃO DOS EFEITOS ECONÔMICOS CAUSADOS PELA RECICLAGEM NA CADEIA PRODUTIVA 109
5.6 VALORAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS GERADOS NO MUNICÍPIO DE SALVADOR EM 2010 110
5.6.1 Valoração do potencial energético dos Resíduos Sólidos Urbanos 111
5.6.2 Valoração dos RSUs para reciclagem mecânica 116
5.7 O MÉTODO DA COMPARAÇÃO ENTRE MATRIZES Q QUADRADAS: A REDUÇÃO NA OFERTA DE MATÉRIA PRIMA VIRGEM 119
5.8 CONTRIBUIÇÕES DA PRESENTE METODOLOGIA À LITERATURA 121
6 COMPARAÇÃO ENTRE IMPACTOS ECONOMICOS DAS ROTAS TECNOLOGICAS DE RECICLAGEM EM SALVADOR 123
6.1 ANÁLISE DOS INDICADORES DE ENCADEAMENTO DA MRI BAHIA 2009 123
6.2 RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE MUDANÇA TECNOLÓGICA NA ESTRUTURA DE INSUMOS 125
6.2.1 Reciclagem mecânica 126
6.2.1.1 Plásticos 130
6.2.1.2 Papéis 131
6.2.1.3 Metais 133
6.2.2 Reciclagem energética 133
6.3 SINTESE DOS RESULTADOS 136
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 138
REFERENCIAS 144
ANEXOS 154

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a quantidade de resíduos sólidos gerados no mundo é de 12 bilhões de toneladas por ano. A perspectiva, segundo Santos e Dias (2012), é de que este valor chegue a 18 bilhões, até 2020. Deste total, cerca de três bilhões de toneladas se referem aos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) 1 gerados pelos 6,6 bilhões de habitantes do planeta Terra. (CEMPRE, 2010). Os problemas associados à gestão de resíduos sólidos se acumulam e a cada tempo e lugar são encontrados novos desafios a serem superados. A reciclagem vem sendo uma alternativa, embora não prometa resolver a maior parte dos problemas associados aos resíduos.

A teoria econômica vem sendo reformulada para absorver as criticas ecológicas e ambientais. A concepção econômica tradicional considera que o meio ambiente é um dos elementos que fazem parte do sistema econômico. As teorias econômicas mais modernas invertam esta relação, ao conceberem o sistema econômico como parte do meio ambiente. A natureza possui outros sistemas de organização não antrópicas que se impõem ao sistema de organização social antrópico, como a economia.

As teorias da economia ecológica e a da economia do meio ambiente vêm evoluindo conceitualmente para preencher esta lacuna acadêmica. Neste contexto, o mais urgente dos problemas ambientais apontados pela teoria é a geração e destinação dos resíduos do processo de produção e consumo. Este é um problema mais urgente porque, no curto e médio prazo, pode causar mais externalidades negativas do que a exaustão de recursos naturais. Georgescu-Roagen, considerado pai da economia ecológica apontava para uma preocupação especial com a capacidade de absorção e processamento dos resíduos pelo ecossistema.

No Brasil, são gerados 67 milhões de toneladas de RSU2 por ano, aproximadamente. A gestão dos resíduos sólidos é municipalizada (BRASIL, 2011 - a). A Constituição Federal de 1988, no inciso V do artigo 30, estabelece a gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos como competência municipal, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão. A gestão de RSU no Brasil, assim como ocorre nos demais países em desenvolvimento, é

[1] São os resíduos de origem domiciliar e comercial.
[2] A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, do IBGE, mais recente é do ano de 2008.

marcada pela presença de catadores de materiais recicláveis, que retiram do lixo os meios materiais de sua subsistência. Desta forma, a presença de catadores é uma importante variável social a ser considerada na gestão de resíduos do Brasil. Além disso, a reciclagem, ao mesmo tempo em que gera atividade econômica, também evita a produção desnecessária de matérias –primas virgens.

No estado da Bahia, são geradas cerca de11 mil toneladas de RSU por dia, equivalente à quase quatro milhões de toneladas por ano. Dados do Plano Nacional de Saneamento Básico, de 2008, indicam que 100% dos 417 municípios do estado possuem manejo de RSU. Na maioria dos municípios, a prefeitura aparece como única executora dos serviços de manejo de resíduos sólidos. O município de Salvador, em particular, gera anualmente 830 mil toneladas por ano, em torno de 2.700 toneladas de RSU por dia. O município já não utiliza lixões para dispor os seus resíduos e oferece 100% de cobertura do serviço de coleta e manejo de RSU. Este serviço é executado por empresas consorciadas terceirizadas, responsáveis também pelo serviço de disposição final em aterro sanitário.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei 12.305 /2010 é o marco normativo da gestão de resíduos sólidos no Brasil. Os princípios constituintes e os instrumentos econômicos da PNRS formam uma aplicação empírica da abordagem ecológica e ambiental da teoria econômica. Os instrumentos econômicos baseados no princípio do poluidor – pagador, do protetor –recebedor, e o paradigma da Ecoeficiencia representam os parâmetros normativos da gestão de resíduos previstos na PNRS. A PNRS representa um avanço na gestão de resíduos sólidos no Brasil, pois incorpora os conceitos de política ambiental considerados mais avançados, na atualidade.

A PNRS exige, ainda, que os estados e municípios desenvolvam planos de gestão de resíduos sólidos de âmbito estadual, municipal e intermunicipal respectivamente. Os planos intermunicipais são apresentados como uma solução para o problema de escala economicamente viável dos serviços de manejo e disposição dos resíduos sólidos dos municípios. Os principais destaques normativos da PNRS são: a ordem de ações prioritárias para a gestão de resíduos, mais eficiente do ponto de vista ecológico; a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, especialmente na fase da logística reversa; a erradicação de lixões e a inclusão de catadores de materiais recicláveis nos planos de gestão de resíduos sólidos.

A PNRS, ao tempo em que traz avanços na política de gestão de resíduos sólidos no Brasil, também exprime uma controvérsia em relação à ordem de prioridades das ações estratégicas na gestão de resíduos sólidos. Esta ordem de prioridade traz o ideal de conservação energética ecoeficiente. Este ideal assume a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Entretanto, ao se referir à incineração com aproveitamento energético de resíduos sólidos, a lei não deixa claro quais são os limites entre a reciclagem mecânica (convencional) e a reciclagem energética (incineração). Isto traz conseqüências significativas para o planejamento tecnológico e econômico do sistema de gestão.

De acordo com a ordem de prioridade da PNRS, a incineração deve ocorrer na etapa de tratamento de resíduos sólidos. É uma etapa posterior à reciclagem mecânica e anterior à disposição final. A finalidade primordial da incineração seria a redução do volume de RSU e a geração de energia elétrica a partir da queima de Resíduos Sólidos Urbanos seria um subproduto desejável desta tecnologia. A geração de energia elétrica por meio de incineração de RSU é um processo também conhecido como reciclagem energética. Entretanto, a utilização de tecnologias obsoletas de incineração de resíduos com reciclagem energética vem sendo cogitada pelos formuladores de políticas de gestão. A literatura mostra que a geração de energia, por estas tecnologias, só é economicamente viável quando se inclui a queima de papeis e plásticos, materiais com maior poder calorífico entre os RSU. Desta forma, a incineração concorreria diretamente com a reciclagem mecânica de RSU, trazendo uma dicotomia na escolha de tecnologias de gestão de Resíduos Sólidos Urbanos.

Um ponto fundamental que relaciona a teoria da economia ecológica com a gestão de resíduo é a analise da entropia da energia gerada ou conservada. A teoria enfatiza a necessidade de priorizar técnicas de conservação de energia de baixa entropia, que seria o caso da reciclagem mecânica, em detrimento de técnicas de gerem energia de alta entropia, a exemplo da reciclagem energética. Desta forma, neste trabalho, esta dicotomia é o tema central do problema de pesquisa.

No estado da Bahia, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos está na fase de Projeto de Lei. Este projeto de lei traz a mesma ambigüidade técnica na gestão de resíduos. Como parte do sistema de gestão de resíduos a ser implantado no estado, o plano prevê a concessão de benefícios fiscais às empresas e entidades que tenham como atividade econômica o aproveitamento e a

recuperação energética de resíduos sólidos produzidos no estado. Tal como ocorre em âmbito nacional, verifica-se a necessidade de delimitar de forma mais precisa as prioridades técnicas da gestão de resíduos no estado da Bahia. Em Salvador, ainda não existe nenhum projeto de lei de plano municipal ou plano intermunicipal de gestão de resíduos sólidos. Dessa forma, Salvador ainda se encontra na fase escolha das tecnologias de gestão de resíduos sólidos.

Considerando as possibilidades de adoção de duas rotas tecnológicas, Reciclagem mecânica e reciclagem energética, para recuperação dos Resíduos Sólidos Urbanos no município de Salvador, o problema de pesquisa que se coloca é: Qual é a melhor rota tecnológica a ser adotada no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos, para recuperação ecoeficiente dos Resíduos Sólidos Urbanos, no município de Salvador?

A partir deste problema de pesquisa, o objetivo do presente trabalho será simular a mudança tecnológica na estrutura de insumos decorrente da adoção de duas rotas tecnológicas pelo município de Salvador. Como objetivos específicos, serão estabelecidos os seguintes: (i) Construir um referencial teórico da economia do meio ambiente relacionada à PNRS e à problemática dos resíduos sólidos; (ii) Construir um modelo de Insumo - Produto para o estado da Bahia, para simular uma mudança tecnológica refletida na estrutura de insumos das rotas tecnológicas; (iii) Comparar os resultados econômicos das duas rotas tecnológicas a partir da modelagem de Insumo - Produto. A hipótese levantada *a priori* é de que a reciclagem mecânica provoca uma redução mais significativa da depleção de recursos naturais, se comparada à economia de recursos proporcionada pela reciclagem energética. Diante do presente problema de pesquisa e respectivos objetivos, será necessário seguir algumas etapas para execução do trabalho de pesquisa. Desse modo, além desta introdução, a dissertação é composta de mais seis capítulos.

O capitulo 2 apresentará ao leitor as principais definições e conceitos técnicos relacionados aos resíduos sólidos e à reciclagem. São apresentadas as classificações dos Resíduos Sólidos, bem como a descrição dos Resíduos Sólidos Urbanos que serão objeto de analise nesta dissertação. Neste capitulo, serão dadas as definições de reciclagem mecânica e energética, mostrando as diferenças técnicas entre estas duas rotas tecnológicas. Este capitulo foi formulado para tornar as expressões técnicas, utilizadas em toda a extensão deste trabalho, mais compreensíveis ao leitor.

O capitulo 3 discorre sobre os aspectos econômicos e institucionais à cadeia produtiva da

reciclagem. Será realizada a descrição do mercado de reciclagem, com a caracterização dos agentes que nele atuam. Em seguida, será apresentada a legislação que rege as instituições relacionadas à cadeia de reciclagem, o histórico da atividade e a configuração da cadeia produtiva da reciclagem e a legislação que regem o setor reciclador. Por fim, será explicitada a problemática que envolve a Política Nacional de Resíduos Sólidos em relação à escolha das rotas tecnológicas alternativas de reciclagem e como este trabalho pretende abordar estas questões.

O capítulo 4 traz a revisão da teórica sobre a economia ecológica e a economia ambiental. São apresentados os principais conceitos e definições teóricos relacionados às políticas ambientais e, em particular, às políticas ambientais urbanas. Neste capitulo são detalhados os conceitos teóricos presentes na PNRS e como estes se relacionam à forma ideal de gestão de resíduos sólidos urbanos, defendida nesta pesquisa. Também são apresentados os trabalhos empíricos precursores da analise comparativa das rotas tecnológicas, bem como, os trabalhos que já aplicaram a analise de Insumo-Produto à economia da reciclagem. Dessa forma, são ressaltados os principais conceitos das ciências naturais e da economia que darão embasamento à escolha da rota tecnológica de reciclagem mais adequada à atual realidade ambiental e ecológica.

O Capitulo 5 refere-se à metodologia utilizada para simulação da mudança tecnológica, decorrente da reciclagem, sobre estrutura produtiva do estado da Bahia, para o ano de 2009. Em primeiro lugar, será apresentada a metodologia de analise de Insumo-Produto. Posteriormente, é mostrada a construção de Matrizes de Relações Intersetoriais (MRI) estaduais pelo método RAS biproporcional modificado e os coeficientes de ligação de Rasmussen. Em seguida, é mostrado o processo de quantificação física dos resíduos recicláveis presentes no RSU do município de Salvador, tanto do ponto de vista da rota de reciclagem mecânica quanto da rota de reciclagem energética. O banco de dados com a quantidade de resíduos gerados em Salvador se refere ao ano de 2010. Uma vez quantificados fisicamente, os resíduos são valorados aos preços de mercado. A partir daí, segue-se que com a explicação do modelo de Insumo-Produto utilizado para a aferição dos efeitos de cada uma das rotas de reciclagem estudadas nesta dissertação.

A modelagem apresentada pretende simular uma mudança tecnológica na estrutura de insumos dos setores da cadeia produtiva produzida pela reciclagem de Resíduos Sólidos

Urbanos. É um modelo que analisa as conseqüências da reciclagem pela ótica dos setores fornecedores de matéria prima virgem. Através da redução do Valor Bruto da Produção do setor ofertante de matéria prima virgem e de energia de diversas fontes3, é possível verificar a os recursos poupados pela redução na produção de matéria prima virgem, na medida em que esta é substituída por insumos recicláveis e reciclados.

No capitulo 6 serão apresentados os resultados da simulação do uso de materiais recicláveis como insumos na cadeia produtiva do estado da Bahia. O modelo de Insumo-Produto foi utilizado para produzir resultados para as duas rotas tecnológicas de reciclagem discutidas nesta dissertação, quais sejam reciclagem mecânica e reciclagem energética. Serão apresentados os resultados calculados pela analise do lado da oferta. Este modelo exprime a redução do Valor Bruto da Produção do setor ofertante de matéria prima virgem e de energia de diversas fontes4, ocasionada pela entrada dos materiais recicláveis na cadeia produtiva. Uma analise da mudança tecnológica na estrutura de insumos será apresentada na conclusão deste capitulo.

O capitulo 7 apresentará as considerações finais da pesquisa. Será feita uma síntese dos capítulos e dos resultados encontrados e também serão elencadas algumas sugestões de políticas publicas que podem ser fundamentadas neste estudo. Ao final do capitulo, também serão sugeridos futuros temas de pesquisa, a partir deste estudo.

---

3 Considera-se que a energia gerada pela queima de RSU entra na matriz como substituto perfeito da energia elétrica provenientes de outras fontes.

4 Considera-se que a energia gerada pela queima de RSU entra na matriz como substituto perfeito da energia elétrica provenientes de outras fontes.

2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Neste capitulo, serão apresentados ao leitor as principais definições e conceitos técnicos relacionados aos resíduos sólidos e à reciclagem. São apresentadas as classificações dos Resíduos Sólidos, bem como a descrição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) que serão objeto de analise nesta dissertação. Também são dadas as definições de reciclagem mecânica e energética, mostrando as diferenças técnicas entre estas duas rotas tecnológicas.

2.1 DEFINIÇÃO DE RESÍDUOS

O termo resíduo é associado a todo tipo de matéria ou energia não aproveitada no processo de consumo ou produção. Qualquer processo de produção, distribuição, e consumo gera resíduo, seja na forma de matéria ou energia dissipada. Atualmente, os 6,6 bilhões de habitantes do planeta Terra geram cerca de 3 bilhões tonelada de lixo por ano (CEMPRE, 2010). Os problemas associados a sua gestão se acumulam e a cada tempo e lugar são encontrados novos desafios a serem superados. A reciclagem vem sendo uma alternativa, embora não prometa resolver a maior parte dos problemas associados aos resíduos. Considerando que cada processo deste é como um ciclo, estes resíduos podem ser reintroduzidos no processo de produção e consumo através da sua reutilização ou reciclagem. Para tanto, faz-se necessário a definição correta dos resíduos que estão sendo gerados, de forma a encaminhar as melhores soluções possíveis para cada tipo de resíduo.

Cabe ressaltar que o termo ‘resíduo sólido’ se diferencia de ‘lixo’. O resíduo sólido se configura como algo que tem valor de uso e valor de troca e pode fazer parte de uma cadeia produtiva em que ocorre a agregação de valor a este (DELMONT, 2007). Por outro lado, o lixo tem seu preço negativo, pois é tudo aquilo que as pessoas pagam, mesmo que indiretamente para se desfazerem. Os resíduos sólidos têm um preço positivo, uma vez que são varias as possibilidades de ganhos que a sociedade e o meio ambiente podem obter com a sua reintrodução, na cadeia produtiva. Além das receitas com a reutilização produtiva dos RSU, a literatura destaca outros benefícios econômicos derivados da reciclagem (CEMPRE, 2010). Um dos principais benefícios são os custos evitados pela reciclagem devido à economia no transporte e na disposição final dos resíduos nos aterros sanitários. Estes elementos fazem dos RSU um objeto de valor econômico positivo para a economia e

sociedade em geral. Dentre os vários segmentos de resíduos sólidos apresentados anteriormente, a reciclagem mecânica e energética vem sendo cada vais mais utilizada a nível mundial.

A classificação dos Resíduos Sólidos varia conforme os critérios de agregação dos materiais. A classificação técnica pode ser quanto à sua origem, ao seu grau de periculosidade ou quanto às suas características físicas. O tipo especifico de resíduo que será objeto de analise nesta dissertação são os Resíduos Sólidos Urbanos, que englobam os Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares (RDO) e Públicos (RPU), uma subclasse dos Resíduos Sólidos.

De acordo com o Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos do Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM) de 2001, os resíduos sólidos são geralmente agregados de duas formas: i- pelos seus riscos potenciais de contaminação do meio ambiente; ii- quanto à natureza ou origem do resíduo. Cada uma destas agregações apresenta outras sub-agregações que especificam com mais exatidão as características dos resíduos. Tais características determinam o tipo de tratamento mais adequado para cada espécie de resíduo.

Com relação à primeira classificação, a NBR 10.004 da ABNT determina três subclasses, a saber: **Classe I ou Perigosos**: São aqueles com propriedades intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou patogenicidade; A **Classe II ou Não- Inertes**: São resíduos que apresentam características de combustibilidade, biodegradabilidade, ou solubilidade que possam acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente; **Classe III ou Inertes**: São aqueles resíduos que não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente.

De acordo com o Manual do IBAM (2001), a classificação quanto à natureza ou origem dos Resíduos Sólidos apresenta ainda cinco subclasses distintas, quais sejam: Doméstico ou residencial; Comercial e demais serviços; Publico (limpeza de vias e logradouros públicos); Domiciliar especial (entulho, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes, pneus, etc.) e Resíduos de fontes especiais (com cinco subclassificações: lixo industrial, lixo radioativo, lixo de portos, aeroportos, e terminais rodoviários, lixo agrícola e lixo de serviços de saúde). Na cadeia de consumo e produção, ainda são classificados em Pós - industrial, Pós – consumo e Pós-destino final.

O Resíduo Pós-industrial é formado pelos refugos da produção industrial de materiais ou de

embalagens que sobram do processo de comercialização do produto final, conhecida como "perda industrial". Este resíduo, que anteriormente era descartado completamente, corresponde atualmente a 70% do mercado de sucata no Brasil (CEMPRE, 2010). Isto se deve, em grande parte, à qualidade ao material, que possui baixo nível de contaminação por outros materiais, facilitando a reciclagem.

Quanto aos resíduos Pós – consumo, estes são formados por resíduos domiciliares, comerciais e públicos, que não chegaram ao destino final que são os lixões e aterros. Este resíduo é a origem de parte dos resíduos sólidos urbanos coletados por catadores, seja por meio de coleta seletiva ou pela triagem realizada em logradouros de forma predatória. A composição dos resíduos sólidos urbanos em resíduos "molhados" e "secos" na composição gravimétrica[5] do lixo gerado é diretamente proporcional à renda per capita.

No caso do resíduo Pós - destino final, este se refere aos materiais triados após chegarem aos aterros, lixões ou usina de triagem. Segundo Pimenteira (2002), esta é a forma de coleta mais utilizada por estes trabalhadores em todo o mundo, e também a mais perigosa. Os materiais provenientes desta da triagem, pós-destino final, têm sua taxa de reaproveitamento bastante reduzida (apenas 0,8%) devido ao alto nível de contaminação dos resíduos por substancias que inviabilizam a sua reciclagem.

A literatura apresenta imprecisões na classificação quanto à origem dos Resíduos Sólidos que podem ser enquadrados como "Urbanos". Segundo o manual do IBAM, a classe de resíduos denominada Resíduos Sólidos Urbanos representa a soma dos resíduos domiciliares (RDO) e dos resíduos públicos (RPU). O RDO, na definição do IBAM usada por Delmont (2007) e Freitas (2007), englobaria tanto os resíduos domésticos ou residenciais, quanto os resíduos comerciais[6]. O RPU se refere aos resíduos comuns gerados pelas atividades da limpeza de ruas e logradouros públicos. Ambos, RDO e RPU, podem ser considerados RSU pós – consumo.

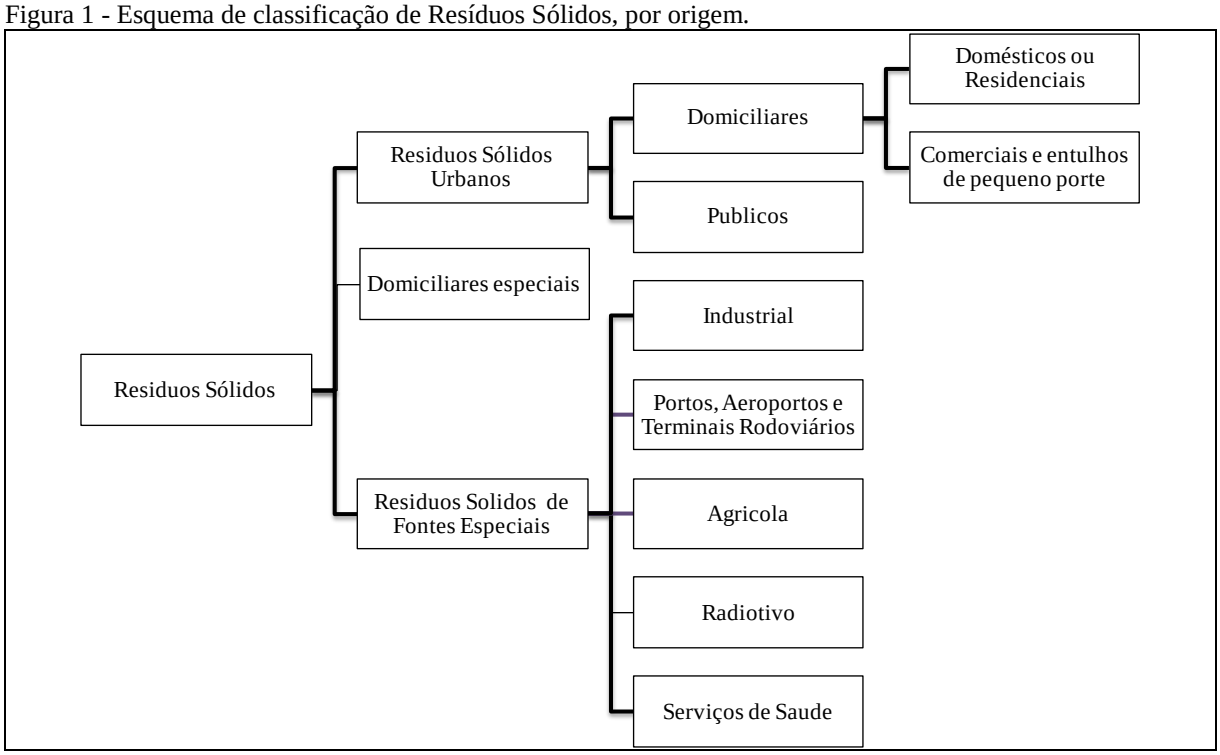
A classificação utilizada pela Lei nº 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos

[5] Composição Gravimétrica, de acordo com Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2010), é a composição física dos resíduos. Em outras palavras, é porcentagem dos diversos tipos de materiais que compõem o resíduo, tais como papel, papelão, madeira, plástico, matéria orgânica, vidro, metal, entre outros.

[6] Desde que coletados de pequenos geradores. Segundo IBAM, por pequeno gerador entende-se um estabelecimento comercial que gere o equivalente a uma domicilio com até cinco membros. Entretanto, cada município pode estabelecer critérios adicionais para a classificação entre grandes e pequenos geradores (IBAM; 2001. p. 27).

Sólidos (PNRS), considera como RSU apenas os resíduos domiciliares: originários de atividades domésticas em residências urbanas e os resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana. A PNRS não menciona os resíduos de origem comercial ou entulhos como RSU. Neste sentido, aqui será levado em conta à definição do IBAM (2001), que considera como parte do RSU também os resíduos comerciais e entulhos de pequenos geradores, pela semelhança física dos materiais gerados pelos pequenos comerciantes e geradores de entulho com os materiais de origem domiciliar e publica. A Figura 1 apresenta um organograma de classificação dos RS conforme o tipo de gerador.

Figura 1 - Esquema de classificação de Resíduos Sólidos, por origem.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de IBAM (2001), Delmont (2007), Freitas (2007), Brasil (2010-a).

A classificação de RSU definida pelo IBAM (2001) é a mesma utilizada para atribuição de responsabilidade pelo manejo de RS do município de Salvador. O sistema de manejo dos RS distingue o grande gerador do pequeno gerador, para resíduos comerciais, de serviços, industriais e entulhos. O grande gerador, enquadrado nestas categorias, tem responsabilidade pelo manejo do próprio resíduo, enquanto o pequeno gerador pode dispor do serviço publico para a coleta de resíduos. Esta divisão poder ser observada no

Quadro **1**. Este trabalho pretende fazer uma analise sobre o montante de RSU coletado pelo sistema publico de limpeza urbana municipal de Salvador.

Quadro 1 - Responsabilidades do Manejo por Tipo de Resíduos

Origem dos resíduos	Responsabilidade pelo manejo
Domiciliar	Município
Comercial pequeno gerador	Município
Comercial grande gerador	Gerador
Público	Município
Serviços de saúde	Gerador
Industrial	Gerador
Em perdimento	Gerador
Instalações portuárias, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários	Gerador
Agrícola	Gerador
Construção e demolição - pequeno gerador (até 2 m^3)	Município
Construção e demolição - grande gerador (até 2 m^3)	Gerador

Fonte: PBLU (2012).

Os RSU podem se apresentar de três formas: i - Resíduos recicláveis secos (plástico, papel, metal, etc.); ii - Resíduos recicláveis orgânicos ou molhados (restos de alimentos) e; iii - rejeitos, que são resíduos sem possibilidade de serem reciclados, devendo ser incinerados ou dispostos em aterros. A Composição gravimétrica dos RSU é derivada de fatores socioculturais e ambientais, tais como o número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população, condições climáticas e sazonais, mudanças na política econômica do país e na política nacional de resíduos sólidos (SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, 2012; CEMPRE; 2010). A depender da intensidade destes fatores, as proporções de materiais presentes no RSU e a quantidade de lixo per capita podem variar entre as áreas urbanas e dentro das próprias áreas urbanas.

2.2 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE RECICLAGEM MECÂNICA E ENERGÉTICA

A reciclagem de RSU se subdivide em basicamente dois processos. No processo conhecido como reciclagem mecânica, o produto resultante é matéria prima secundária, que substitui a matéria prima originalmente utilizada no processo produtivo (OLIVEIRA FILHO; FREITAS, 2009). A reciclagem energética, também conhecida como valorização energética, consiste em aproveitar o poder calorífico gerado na queima de resíduos para a geração de energia elétrica.

Neste caso, o produto da reciclagem é, portanto, a energia elétrica.

De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos, definida na Lei 12.305/2010, que normatiza as praticas de gestão e gerenciamento de RSU, a reciclagem é um "[...] processo que transforma materiais recicláveis em novos produtos." O termo reciclagem é geralmente aplicado ao processo de transformação dos mais diversos grupos ou tipos de resíduos sólidos que tenham as suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas alteradas para obtenção de insumos ou novos produtos. A literatura também define os termos "recuperação" e "valorização" de resíduos como sinônimos de reciclagem de resíduos sólidos. O uso de cada uma das diversas tecnologias de reciclagem depende do tipo de material a ser processado e do tipo de insumo / produto que se deseja obter.

A diferenciação do termo reciclagem surge quando se trata de processo de reciclagem dos materiais plásticos. Segundo Franchetti e Marconato (2003), Oliveira Filho e Freitas (2009), a reciclagem de plástico pode ser categorizada em quatro tipos: A reciclagem primária; a reciclagem secundária ou mecânica, a reciclagem terciária ou química e; a reciclagem quaternária ou energética. O termo reciclagem mecânica e reciclagem energética, apesar de originalmente empregado para designar diferentes tipos de processo de reciclagem de plástico, pode ser estendido para a designação dos processos de reciclagem dos demais materiais.

Segundo Cempre (2010), Oliveira Filho e Freitas (2009), a reciclagem primária é o nome dado à reciclagem de artefatos plásticos defeituosos, realizada internamente pela unidade produtora. É também conhecida como reciclagem pós-industrial. Este tipo de reciclagem é importante do ponto de vista de redução de custos do produtor. Pela facilidade técnica e logística atribuída à reciclagem de resíduos pós industriais, as metas de aproveitamento associadas a esta são as primeiras a serem alcançadas por indústrias e policy makers.

A reciclagem secundária ou mecânica é a conversão de resíduos plásticos domiciliares ou públicos descartados como lixo pelo seu consumidor final, seja na fase pós - consumo ou pós – destino final. A cadeia produtiva da reciclagem mecânica, que está detalhada no capitulo 3 deste trabalho, requer articulação institucional mais complexa no que se refere à implementação de políticas publicas ambientais, devido a sua multiplicidade das transações e atores envolvidos. Em função desta complexidade, a meta de reciclagem mecânica é de difícil

alcance.

A reciclagem terciaria ou química do plástico é a conversão dos resíduos plásticos em monômeros ou hidrocarbonetos. Os diversos tipos de plásticos podem ser transformados em resinas virgens e outras substâncias de valor econômico para a indústria. Além disto, os diversos tipos de plásticos pós – consumo e pós-industrial (PVC, PABD, PEBD, etc.) podem ser reciclados juntos, sem necessidade de triagem previa. No entanto, sua utilização em escala ainda é inviável economicamente devido ao alto custo do processo.

Por fim, a reciclagem quaternária ou energética do plástico consiste no processo de geração de energia elétrica através do calor advindo da queima dos resíduos plásticos. Esta reciclagem se diferencia da simples incineração, já que esta não necessariamente produz energia elétrica no processo de queima do resíduo. Trata-se de um tipo de reciclagem bastante difundido nos países centrais, especialmente os países europeus e o Japão. Entretanto, o aproveitamento energético pela incineração de resíduos nestes países é recente e ainda não generalizado. De acordo com o Cempre (2010), o poder calorífico de um quilo de plástico é igual ao de um litro de óleo combustível.

Quadro 2 - Processos de reciclagem por tipo de material

	Processos de reciclagem			
Grupo de Material	**Primária**	**Secundária**	**Terciária**	**Quartenária**
Plástico	sim	sim	sim	sim
Papel	sim	sim	não	sim
Metal	sim	sim	não	não
Vidro	sim	sim*	não	não
Borracha	sim	sim*	não	sim
Madeira	sim	sim*	não	sim
Orgânicos	sim	sim*	não	sim

Fonte: Dados da pesquisa, 2013[7].

A reciclagem dos diversos grupos de materiais pode ser categorizada de forma semelhante. Seguindo os mesmos parâmetros utilizados para a classificação da reciclagem de plástico, é possível estender a categorização para os demais grupos de materiais. Apenas o processo de reciclagem química ou terciária se aplica somente ao plástico. Assim, os processos industriais

[7] Materiais que podem ser reciclados mecanicamente, mas que ainda não possuem a cadeia produtiva desenvolvida no estado da Bahia

de reciclagem dos demais grupos e subgrupos de materiais recicláveis, podem também ser classificados como primário, secundário ou quaternário, tal como esquematizado no Quadro 2

Com relação à reciclagem quaternária ou incineração com fins energéticos, sabe-se que todos os materiais recicláveis secos podem ser queimados. Entretanto, nem todos os materiais tem Poder Calorífico Inferior (PCI) suficiente para gerar energia calorífica, que pode ser transformada em energia elétrica. No caso da reciclagem mecânica, a maioria dos materiais é reciclável mecanicamente, porém alguns não possuem cadeia produtiva desenvolvida em grande escala em todos os estados da federação.

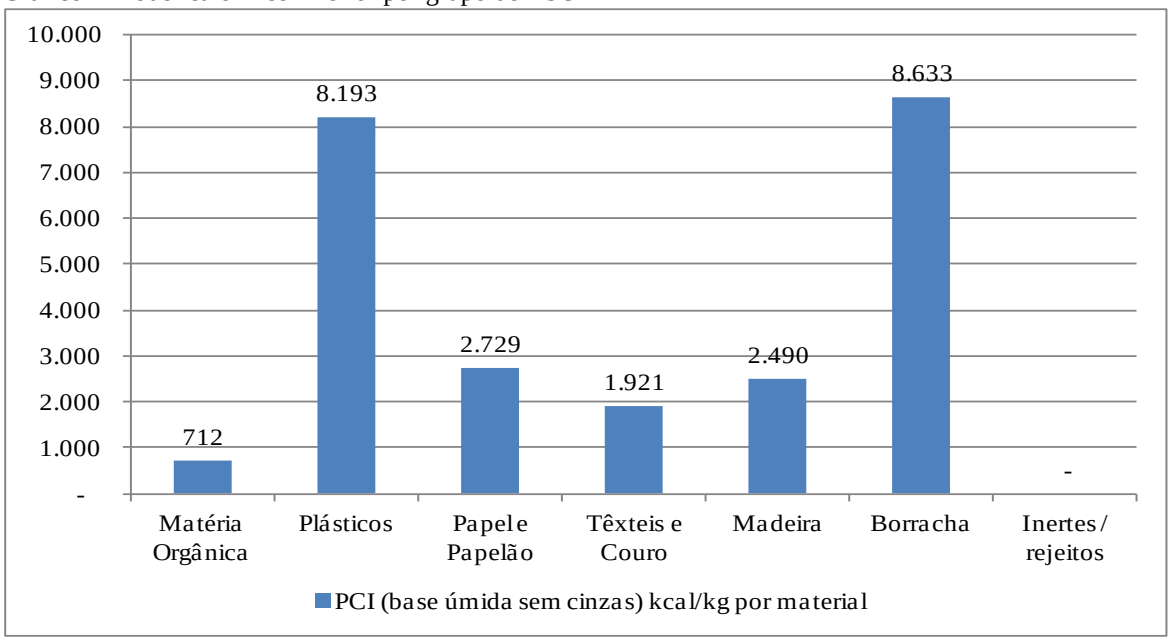
A incineração é definida como uma técnica de reciclagem ou recuperação energética e tratamento térmico de resíduos em unidades físicas de produção denominadas "Usinas WTE", da sigla em inglês de waste-to-energy. Em uma visão mais ampla, Menezes, Gerlach e Menezes (2000) a definem com "um processo de redução do peso, volume e das características de periculosidade dos resíduos". A incineração elimina as características de patogenicidade da matéria e reduz os seu volume, por meio da combustão controlada. Desta forma, existe a incineração sem geração de energia elétrica, usada para redução do volume e patogenicidade de alguns resíduos, e a incineração com finalidade de geração de energia elétrica.

O processo de incineração conhecido como queima mássica (mass burn) consiste em queimar os RSU para produzir energia elétrica através do vapor, podendo também ser usado diretamente em processos industriais (ou para aquecimento). O principio da geração de energia elétrica pela incineração de resíduos obedece aos mesmos princípios físico-químicos de uma usina térmica convencional de "ciclo Rankine" [8]. O montante de energia elétrica gerada é uma função direta do poder calorífico (PC) do material incinerado e da capacidade de transformação deste calor em eletricidade (Empresa de Pesquisa Energética, 2008).

[8] O ciclo *Rankine* é um ciclo térmico a vapor, considerado o ciclo ideal para uma unidade motora simples a vapor. Baseia-se na queima direta de resíduos. O sistema de ciclo *Rankine* básico é composto por quatro equipamentos: A bomba hidráulica (*pump*) e a Turbina a vapor (*turbine*), que dividem o sistema em zonas de alta e baixa pressão, a caldeira (*boiler*) e o condensador de vapor (*condenser*), que são responsáveis por fornecer e retirar energia do sistema na forma de calor. Através do calor, a turbina a vapor aciona um gerador elétrico que converte energia mecânica (Wt) em eletricidade. Difere das outras tecnologias de ciclos térmicos (ciclo *Otto* e ciclo *Brayton*) que esses necessitam da transformação anterior do resíduo em gases combustíveis baseadas na gaseificação, pirólise ou digestão anaeróbia de resíduos, integradas às turbinas ou micro turbinas a gás, motores de combustão interna ou células a combustível. (MINAS GERAIS, 2012).

O material orgânico tem como alternativa de reciclagem a biodigestão anaeróbica. Este gera metano, que pode ser utilizado para geração de energia elétrica, e fertilizante agrícola, que é um subproduto sólido da biodigestão. Apesar da sua importância na resolução de problemas relacionados ao descarte de resíduos e geração de energia, esta opção não será analisada neste trabalho. Isto porque não existe uma cadeia produtiva suficientemente desenvolvida no estado da Bahia que possa ser captada nas contas regionais, ficando como sugestão para futuros trabalhos. Desse modo, será considerado apenas o processo de reciclagem energética do material orgânico pela incineração, uma vez que é um material que possui PCI positivo.

Gráfico 1- Poder calorífico inferior por grupo de RSU



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Brasil (2008-a), Minas Gerais (2012) e Climate Works (2012).

Nesta pesquisa, a reciclagem mecânica se resume à cadeia produtiva do metal (ferrosos e não ferrosos), plástico e papel / papelão. Quanto à reciclagem energética, esta é relevante para o plástico, papel / papelão, borracha, madeira e material orgânico. O Gráfico 1 ilustra o poder calorífico inferior por cada quilo de material.

A literatura utiliza o conceito de rota tecnológica para descrever as tecnologias alternativas utilizadas para a recuperação dos Resíduos Sólidos Urbanos. Cada rota tecnológica tem conseqüências econômicas, sociais e ambientais distintas. O relatório da Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2008-a), da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais

(MINAS GERAIS, 2012), divulgado em 2012, e o trabalho da Climate Works (2012) [9] definem duas rotas. A primeira rota, Rota A, é baseada na reciclagem energética de RSU através dos incineradores de combustão em grelha, que utiliza o processo mass burn (queima massiva), com a queima de todos os RSU, orgânicos e secos (MINAS GERAIS, 2012). A segunda rota, Rota B, combina a geração de energia elétrica através da biodigestão anaeróbica dos RSU com a triagem dos resíduos secos para encaminhamento à reciclagem. A escolha da Rota B demanda um Plano Municipal de Gerenciamento de RSU, com coleta seletiva de forma mais intensiva, o que no longo prazo tende a reduzir o montante gasto em investimentos inicial.

Os estudos da Climate Works (2012) e Brasil (2008 - c) mostram o custo beneficio de cada rota. Estes estudos mostram que a queima de RSU concorre diretamente com a reciclagem mecânica. Isto ocorre porque as plantas produtivas não apresentam instalações para triagem dos resíduos secos, e a retirada de plásticos e papel pode inviabilizar técnica e economicamente a geração de energia, uma vez que estes guardam o maior poder calorífico. Desse modo, a opção por centrar a analise das conseqüências econômicas e tecnológicas neste subgrupo de resíduos decorre da grande participação dos RSU no total de resíduos sólidos gerados em Salvador, assim como no Brasil e dos problemas associados à sua má disposição no meio ambiente.

2.3 CLASSIFICAÇÃO NACIONAL DA ATIVIDADE ECONÔMICA RECICLADORA

O IBGE utiliza dois códigos de classificação de atividades e setores econômicos, que possuem relação entre si, que serão compatibilizados neste trabalho. Um dos códigos é utilizado pelo sistema de Contas Nacionais (SCN), doravante denominado 'código SCN', enquanto o outro código corresponde à Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) versão 2.0. Com relação à indústria recicladora e transformadora, não existe na versão 2.0 da Classificação Nacional de Atividades (CNAE) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) uma divisão ou grupo para indústria transformadora que utiliza especificamente os materiais recicláveis. O órgão estatístico nacional entende que a separação

[9] Os trabalhos da Empresa de Pesquisa Energética – Brasil (2008-a), da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais – Minas Gerais (2012) e do Climate Works (2012) são utilizados como referencia, pois foram os trabalhos encontrados na literatura destinados a embasar estudos de viabilidade de alternativas tecnológicas para tratamento de resíduos nas administrações publicas municipais. Desta forma, são trabalhos que contém os parâmetros técnicos das alternativas tecnológicas associadas ao tratamento de RSU.

da atividade recicladora da atividade de transformação convencional só faz sentido até o nível de transformação de sucatas e resíduos em matérias-primas secundárias, atividades consideradas pré – industriais. Esta atividades estão classificadas na seção E do CNAE 2.0, denominada "Água, Esgoto e Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação". Nesta seção, encontram-se as classes 3831.9 – Recuperação de materiais metálicos; 3832.7 - Recuperação de materiais plásticos e; 3839.4 - Recuperação de materiais não especificados anteriormente. Neste ultimo se incluem a recuperação de papel, papelão, vidro e outros materiais recicláveis. A definição literal do grupo 383 – Recuperação de materiais da CNAE 2.0 é dada por IBGE (2007) [10].

Devido à alta taxa de informalidade constatada entre os estabelecimentos recicladores no país cadastradas no grupo 383 da CNAE 2.0 [11], existe uma baixa representatividade desta atividade econômica no Sistema de Contas Nacionais (BRASIL, 2009). Ademais, existem registros de indústrias recicladoras que são verticalizadas para frente e / ou para trás. Isto significa que além de realizarem a atividade de reciclagem industrial, também atuam como transformadores (a jusante) e/ou separadores (à montante), o que dificulta ainda mais a desagregação das atividades do grupo no SCN (FREITAS; OLIVEIRA FILHO, 2009).

Com relação às indústrias transformadoras demandantes dos materiais reciclados, existe uma divisão mais especifica entre os grupos de materiais. As indústrias transformadoras de matérias-primas recicladas são: (SCN 307) - Fabricação de Celulose e Produtos de Papel (reciclagem do papel), cuja divisão CNAE 2.0 é 17; (SCN 318) - Fabricação de Artigos de Borracha e Plástico (reciclagem do plástico), CNAE 2.0 divisão 22; (SCN 322) - Metalurgia Básica (reciclagem do alumínio) da divisão 24 segundo a CNAE 2.0 e; (SCN 323) - Fabricação de Produtos de Metal - exclusive máquinas e equipamentos (reciclagem do ferro e do aço), cuja divisão CNAE 2.0 é a 25. Desta forma, verifica-se que a separação dos materiais recicláveis em grupos é condizente com as diversas tecnologias de transformação industrial a que são submetidos.

---

[10] A CNAE define o processo de recuperação de materiais como: separação e transformação de sucatas e resíduos em matérias-primas secundárias mediante a compactação, tratamentos químicos, físicos, etc., permitindo nova transformação. Os produtos obtidos pela recuperação de materiais são utilizados na indústria. As atividades do grupo classificado pelo IBGE como reciclador compreendem também o "tratamento de resíduos feito por usinas de compostagem, resultando num composto utilizado para a fertilização do solo" (BRASIL, 2007-a). Em tese, esse grupo deve ser afetado a montante no processo de avaliação dos impactos econômicos da cadeia produtiva dos materiais recicláveis. Devido ao alto grau de informalidade deste setor, composto por ferros-velho, depósitos e cooperativas de catadores de materiais recicláveis, a sua visibilidade na matriz de Insumo-Produto ainda é bastante limitada.

[11] Oliveira Filho (2009)

Estas indústrias, ao utilizarem os materiais recicláveis, deixam de pressionar os setores de atividade à montante, isto é, aqueles que lhes fornecem matérias – primas virgens. Desta forma, a reciclagem de metal reduz a oferta do setor (SCN 202 +203) - Outros da indústria Extrativa, cujo código CNAE 2.0 abrange as divisões 05 a 09, exceto a divisão 06 que diz respeito à Extração de Petróleo e gás natural. A reciclagem de papel reduz a oferta do setor (SCN 307) - Celulose e produtos de papel, correspondente à divisão 17 da CNAE 2.0 . Quanto à reciclagem de plástico, esta reduz a oferta do setor (312) - Fabricação de resina e elastômeros, o qual corresponde ao grupo 203 da CNAE 2.0.

Em relação à reciclagem energética, o mesmo o grupo do setor (351) - Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, que corresponde ao grupo 351 da CNAE 2.0, é, ao mesmo tempo, o setor que oferta (geração) e demanda (transmissão / distribuição) de energia elétrica. Espera-se que a reciclagem, ao reduzir a depleção de recursos naturais, provoque uma mudança na tecnologia de insumos dos setores, refletindo-se em uma matriz de Insumo-Produto mais limpa, do ponto de vista ambiental

No próximo capitulo serão apresentadas as informações sobre o panorama da geração e gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil e no mundo. Serão mostradas as principais questões institucionais e econômicas relacionadas aos Resíduos Sólidos Urbanos.A construção deste panorama é indispensável para a compreensão da problemática sobre a rota tecnológica de reciclagem que contemple os critérios de Ecoeficiencia.

2.4 ASPECTOS ECONÔMICOS E INSTITUCIONAIS DAS TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM ENERGÉTICA

No mundo existem registros do uso da incineração para a redução do volume de resíduos dispostos em aterros ou lixões desde o século XVIII (MORGADO; FERREIRA, 2006). Mas só a partir da segunda metade da década de 60 é que passa a ser usada para geração de energia elétrica. Atualmente, a tecnologia encontra-se na quarta geração, marcada por uma maior pressão ambiental, e busca de redução ao máximo dos gases poluentes.

Os avanços na tecnologia de reciclagem mecânica aumentaram o custo de oportunidade da reciclagem energética em decorrência da ampliação de usos produtivos dos RSUs. Desse

modo, o crescimento do mercado associado à reciclagem mecânica valorizou o RSU como matéria prima dos mais variados processos produtivos. Além disto, pressões políticas decorrentes da insatisfação de ecologistas e da sociedade pela adoção de processos de reciclagem menos poluentes induziram à reorganização tecnológica do setor (CONNETT, 2013).

O primeiro incinerador do Brasil foi instalado em fins do século XIX, no estado da Amazônia. Na década de 1970, foi iniciada a fase de implantação de incineradores para resíduos perigosos. Até o momento, não se verifica registros de plantas de incineração de RSU com finalidade de geração energética, como a *mass burn* (CLIMATE WORKS, 2012). Entretanto existe uma profusão de projetos em todo o Brasil, para implantação destas plantas em virtude de uma brecha na PNRS. A tecnologia que está sendo comprada pelo Brasil é uma reprodução da tecnologia utilizada na Europa (OLIVEIRA FILHO, 2010).

O Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR) e outras organizações ambientalistas têm se manifestado contra a incineração de RSU. A justificativa é a possível redução do mercado de materiais recicláveis, que possibilita a recuperação de RSU considerado menos poluente do que a recuperação energética. Além do aspecto ambiental, o aspecto social também é considerado a favor da reciclagem mecânica, que gera mais empregos e renda ao longo da cadeia produtiva.

A legislação nacional que normatiza o processo de incineração está contida nas resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 316 e nº 358. Estas resoluções dispõem sobre os procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos e sobre a sua aplicação para resíduos da saúde. As definições e padrões para analise do desempenho do material incinerado, bem como o padrão de emissão, de material particulado, inspeção, análise do resíduo plano de disposição de resíduos da queima, e etc. são normatizados pelas NBR[12] 11157 e NBR 14.0004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Por emitir muitos materiais poluentes ao longo do processo, a incineração é cercada de legislações que limitam o seu desempenho.

O rendimento energético médio do processo é de aproximadamente 20% a 25%, sendo

[12]Norma Brasileira (NBR) sistematizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

limitado pela necessidade de manutenção de baixas temperaturas de combustão dos resíduos (em torno de 200ºc). Esta é a forma de se controlar a agressividade ambiental dos gases expelidos pelo uso deste tipo de combustível e de evitar o desgaste precoce dos equipamentos (BRASIL; 2008 -a). Existem diversos tipos de tecnologias de tratamento térmico para geração de energia elétrica a partir de RSU. As principais tecnologias de tratamento térmico de resíduos são cinco: 1) incineração; 2) pirólise, 3) a gaseificação; 4) plasma e 5) co-processamento em forno de *clínquer*. A incineração é a tecnologia de tratamento térmico de resíduos mais difundida, atualmente. A necessidade de manutenção das baixas temperaturas faz com que o seu rendimento energético seja relativamente baixo, em torno de 450 a 700 KWh por tonelada de RSU (BRASIL; 2008 -a).

Menezes *et al* (2000) define a incineração como um "processo de combustão controlada" . As usinas de incineração, com capacidade de geração de energia elétrica, são também conhecidas pela sigla em inglês WTE (*Waste – to – Energy*) (BRASIL; 2008 -a). Fundamentado na reação do oxigênio com componentes combustível presentes no resíduo (como carbono, hidrogênio e enxofre), este processo converte energia química em calor, que pode também ser transformado em eletricidade. Para analise da viabilidade técnica e econômica desta tecnologia é prioritário o estudo do Poder Calorífico Inferior (PCI) dos RSUs a serem incinerados. O PCI é o resultado "das contribuições dos poderes caloríficos específicos de cada material" (CLIMATE WORKS, 2012 pg. 37). Estes valores são inferidos em análises laboratoriais, pela queima completa dos materiais secos em equipamentos denominados calorímetros. O PCI se relaciona, portanto, diretamente à composição gravimétrica dos RSU.

Segundo o inventario de tecnologias de incineração e recuperação energética das parcelas secas e orgânicas dos RSU feito pela Climate Works (2012) a tecnologia *mass burn* é a mais utilizada. O nome "*mass burn*" ou "*mass burning*" significa literalmente "queima qualquer coisa no estado em que se encontra" (CLIMATE WORKS, 2012, p. 34). Esta tecnologia gera uma maior quantidade de energia, pois utiliza todos os resíduos com poder calorífico elevado, inclusive plástico e papel (MINAS GERAIS, 2010). Essa tecnologia conta com a maior experiência de aplicação nos países que optam pela recuperação energética e está disponível comercialmente no Brasil. Estas características fizeram com que esta tecnologia se tornasse parte do objeto de estudo do presente trabalho.

A Tabela 11 do Anexo I mostra os valores de PCI associados aos grupos de materiais que

foram utilizados neste estudo para o calculo da viabilidade técnica da tecnologia de incineração *mass burn* para o município de Salvador. O valor do PCI relevante para o estudo é a soma da contribuição de cada material ao PCI Total (em kcal/kg). Esta contribuição é obtida pela ponderação do PCI de cada grupo de material pela participação relativa deste grupo na composição gravimétrica dos RSU.

Segundo estudo da Empresa de Pesquisa Energética (2008), embora não seja determinante, o (PCI) dos RSU deve obedecer aos seguintes parâmetros técnicos: (i) Para PCI < 1.675 kcal/kg, a incineração não é tecnicamente viável, pois além das dificuldades técnicas, exige a adição de combustível auxiliar); (ii) Para 1.675 kcal/kg < PCI < 2.000 kcal/kg, a viabilidade técnica da incineração ainda depende de algum tipo de pré-tratamento que eleve o poder calorífico; (iii) Para PCI > 2.000 kcal/kg, a queima bruta (*mass burning*) é tecnicamente viável.

Ainda segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2008), as usinas de incineração podem gerar entre 450 e 700 KWh por tonelada de RSU, considerando a tecnologia *mass burn*. Este valor é semelhante aos informados pelos estudos da Via Pública e Fundação Estadual do Meio Ambiente, que servem de referencia para esta dissertação. Segundo a Minas Gerais (2012), o maior problema da incineração, do ponto de vista da PNRS, é que ela deveria ser usada somente para os materiais não recicláveis. Entretanto são justamente as frações de RSU com maior poder calorífico como plásticos, papel/papelão e borrachas que interessam à geração de energia e garantem a viabilidade econômica do projeto. Isto torna a tecnologia de reciclagem energética concorrente da gestão de resíduos que tenha como prioridade a reciclagem mecânica.

No município de Salvador, assim como no restante do Brasil, os RSU possuem uma elevada fração de matéria orgânica que se caracteriza pela umidade e pelo baixo poder calorífico quando comparada a outros materiais, como pode ser observado na Tabela 11 do Anexo I. Os valores mostram o PCI individual e a contribuição de cada material ao PCI total, que é a ponderação do PCI individual de cada material pela sua participação na composição gravimétrica. A participação dos resíduos úmidos ou orgânicos pode variar para mais ou menos, mas continuam sendo o material com maior incidência sobre o total de RSUs brasileiros.

Um PCI abaixo do mínimo (que varia entre de 1.650 e 1.920 kcal/kg) implica na necessidade de combustível auxiliar para geração de energia elétrica que mantenha a viabilidade técnica e econômica do projeto (MINAS GERAIS, 2010; 2012). Este processo inclui a remoção magnética de materiais ferrosos e não ferrosos dos RSU, para obtenção de uma fração de resíduos com maior poder calorífico. Ao final do processo, a composição do RSU combustível se constitui basicamente de materiais plásticos, papéis e papelão não reciclados, madeira, pano e fração orgânica.

As receitas operacionais do projeto são compostas por: venda de energia elétrica, destruição térmica dos resíduos sólidos urbanos, recepção dos resíduos na porta da planta de incineração (*gate fee*) e venda de créditos de carbono. A venda de energia elétrica gerada em termoelétricas é pautada pelo preço de leilões livres de energia. O valor cobrado pela tonelada incinerada diz respeito ao custo de recepção ou de "porta" (*gate fee*) do material reciclável. Os créditos de carbono são gerados pela não disposição do RSU incinerado em aterros, apesar de haver geração de outros poluentes no processo de incineração, o que gera, em alguma medida, um 'débito' de carbono. Além disso, ao gerar energia com o RSU, outras fontes de energia de origem fóssil são poupadas, com conseqüente redução de emissões, significando mais créditos de carbono.

Quanto ao balanço de carbono da incineração com recuperação energética, este é alvo de controvérsias. Trata-se de um processo altamente poluente, mesmo quando são consideradas as tecnologias mais modernas (MINAS GERAIS, 2012; CLIMATE WORKS, 2012). O estudo da Climate Works alerta para o fato de que o balanço da quantidade de energia liquida envolvida nas várias cadeias de atividades econômicas relacionadas aos RSUs (coletores, triadores, aparistas, recicladores e agentes coligados), deve considerar a energia produzida e a energia conservada em cada rota tecnológica do inicio ao fim do ciclo de vida dos RSUs como um todo. Logo, a aplicação da metodologia de Analise do Ciclo de Vida (ACV) é necessária para a avaliação do balanço de carbono do processo de incineração e de reciclagem mecânica.

Existem estudos relacionados a analise do ciclo de vida de embalagens recicláveis feitos pela Empresa de Pesquisa Energética e divulgados em 2008. As conclusões apontam que a economia de energia liquida obtida com a rota tecnológica que alia reciclagem mecânica dos resíduos à biodigestão dos resíduos orgânicos é de aproximadamente 2,5 vezes superior à

economia de energia liquida obtida pela rota da incineração (MINAS GERAIS, 2012).

Os resultados da ACV dos RSUs justificam a adoção de ordem de prioridade a ser seguida no gerenciamento dos resíduos: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento de resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos. Essa ordem já vem sendo adotada pelos países desenvolvidos e está presente na legislação brasileira (BRASIL, 2010). Esta sistemática deve servir para nortear os gestores locais na elaboração dos planos locais de gestão dos resíduos sólidos. Além disso, é importante considerar os efeitos sobre a geração de trabalho e renda que cada rota tecnológica pode proporcionar.

Em análise feita pela Empresa de Pesquisa Energética vinculada ao Ministério das Minas e Energia, em 2008, o abatimento de emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) adota como linha base de emissões o aterro sanitário sem aproveitamento energético. Neste caso, a incineração, reduz as emissões de GEE (Brasil, 2008-a). A hipótese de recuperação mecânica da parcela seca do RSU reduz o PCI incinerável, o que implica no uso suplementar de combustíveis fósseis, com o conseqüente aumento de emissões de GEE. Segundo os cálculos da Climate Works, com os parâmetros adotados neste estudo, cada tonelada incinerada evitaria a emissão de 0,24343 tCO2e.

A energia elétrica, produto gerado por termoelétricas movidas a resíduos sólidos, entra como insumo direto no setor SCN 401 - Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana. O CNAE 2.0 deste setor se enquadra no grupo 351- Geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Devido ao nível de desagregação possibilitado pelas Contas Regionais divulgadas do IBGE, o setor que gera energia (oferta) é o mesmo setor que transmite e distribui energia (demanda) no atacado. Segundo a descrição da Comissão Nacional de Classificação (B RASIL, 2007-a) do IBGE “Este grupo compreende a geração de energia elétrica em alta tensão, a transmissão desde as usinas de geração até os centros de distribuição e a distribuição para os consumidores finais. Este grupo compreende também o comércio atacadista de energia elétrica”. Desse modo, por imposição técnica, neste trabalho não existe a possibilidade de desagregar as duas atividades, de geração e distribuição de energia elétrica.

2.5 ASPECTOS ECONÔMICOS E INSTITUCIONAIS DAS TECNOLOGIAS DE RECICLAGEM MECÂNICA

Para compreensão do processo de recuperação industrial do RSU, torna-se fundamental a correta classificação dos setores de atividade que compõem a cadeia produtiva da reciclagem mecânica no Brasil. Como processo de recuperação mecânica de materiais, entende-se a separação e transformação de sucatas e resíduos em matérias-primas secundárias mediante a compactação, tratamentos químicos, físicos, etc., permitindo nova transformação (FREITAS E OLIVEIRA FILHO, 2009; CEMPRE, 2010). O processo de reciclagem mecânica de materiais é, portanto, um processo de produção industrial como outro qualquer. Os produtos obtidos pela recuperação de materiais são utilizados, como matérias- primas secundárias, pelos setores da indústria de transformação.

Com relação ao processo produtivo do papel, Freitas e Oliveira Filho (2009) aponta que o processo produtivo tradicional do papel pode ser resumido em três etapas: i - a extração da celulose natural existente nos vegetais, ii - a produção da massa celulósica , que funde a fibra celulósica com demais componentes químicos iii - a transformação da massa de celulose no papel. O grupo de papel e papelão transformado em matéria prima secundaria entra diretamente na etapa de preparação da pasta de celulose, em que pode ser misturada com a celulose virgem. A existência de variados contaminantes e a coloração parda fazem com que a fibra de celulose reciclada seja geralmente utilizada para a fabricação de “papéis menos sofisticados como embalagens, papel cartão ou imprensa” (FREITAS; OLIVEIRA FILHO, 2009).

Ainda segundo Freitas e Oliveira Filho (2009), com relação ao processo industrial de reciclagem do grupo dos plásticos, a transformação da matéria prima secundária ocorre nas indústrias chamadas de Terceira Geração Petroquímica. O plástico reciclável substitui as resinas plásticas produzidas pelas indústrias de Segunda Geração Petroquímica. Estas, por sua vez, obtêm sua matéria prima nas indústrias da Primeira Geração, a de petroquímicos básicos. A Terceira Geração de indústrias petroquímicas transforma a resina, virgem ou reciclada em diversos produtos, tais como embalagens plásticas, mangueiras de irrigação, tecidos etc. Segundo relatório do Instituto Plastivida, de 2011, os maiores mercados consumidores de plásticos reciclados são os setores de utilidades domésticas (16,5%), seguido do setor agropecuário (15,3%), Industrial (15%), Têxtil (10,3%) e Construção Civil (10,2%). A quantidade de vezes que um material plástico pode retornar ao ciclo é finita e varia conforme a qualidade e o tipo do plástico (CEMPRE, 2010).

Quanto ao grupo dos metais, tanto a reciclagem dos metais ferrosos quanto à dos não ferrosos passa por etapas tecnicamente semelhantes. Ambos são separados e vendidos às suas respectivas indústrias metalúrgicas, que executam a fundição e a preparação das ligas metálicas. A principal diferença entre as cadeias dos metais ferrosos e não ferrosos é o preço de mercado de cada um. Os Metais não ferrosos podem atingir uma relação de preço / quilo até dez vezes maior do que a observada entre os metais ferrosos. Os metais, de forma geral, podem ser reciclados infinitas vezes, sem predas significativas das propriedades físico-químicas dos materiais. (FREITAS; OLIVEIRA FILHO, 2009).

A taxa de reciclagem pós-consumo de um dado material é dada pela razão entre o total efetivamente reciclado e o total consumido (IRPM; 2011). As taxas de recuperação dos plásticos são baseadas nos parâmetros suecos. Segundo o Instituto Plastivida (2011) os suecos reciclam, em media, 35% do total de plástico, índice superior ao do Brasil, que reciclou em 2011 apenas 22%. Com relação aos papeis brancos ou de escritório, de acordo com o Cempre (2010), a taxa máxima é encontrada na Argentina, com a reciclagem de até 46% dos papeis brancos ou de escritório, bem acima dos 30% reciclados no Brasil. O papelão, juntamente como alumínio, são um dos poucos materiais cujas taxas de reciclagem brasileira são estão entre as maiores do mundo, tendo 73% do seu papelão pós – consumo e 35,2% do alumínio recuperados no Brasil por reciclagem mecânica.

Por fim, tem-se a taxa de reciclagem de metais ferrosos, também conhecido como sucata de obsolescência de utilidades domésticas. A Associação Brasileira de Metalurgia (ABM) estima que no Brasil sejam reciclados cerca de 50% dos metais ferrosos pós – consumo. As taxas de reciclagem deste material têm informações escassas quando comparado aos outros materiais pesquisados. Assim, de um total de aproximadamente 828 mil toneladas geradas anualmente em Salvador, cerca de 130 mil ou 15,5% do total foram consideradas passiveis de reciclagem neste trabalho. A Associação Brasileira de Metalurgia (ABM) estima que no Brasil sejam reciclados cerca de 50% dos metais ferrosos pós – consumo. As taxas de reciclagem deste material têm informações escassas quando comparado aos outros materiais pesquisados. Assim, de um total de aproximadamente 828 mil toneladas geradas anualmente em Salvador, cerca de 130 mil ou 15,5% do total foram consideradas passiveis de reciclagem neste trabalho.

Tabela 1 - Composição gravimétrica e valoração dos RSU para reciclagem mecânica – Salvador, 2010

Material	Composição gravimétrica percentual	Composição gravimétrica absoluta (em ton.)	Percentual reciclavel máximo (%)	Total reciclavel por ano (em ton.)	Preço médio por tonelada (em R$ 1,00)	Valor total do RSU reciclaveis (em R$ 1,00)
Plástico total	**22,1%**	**183.072**		**64.075**		**51.154.907**
Plástico Duro	4,9%	40.223	35	14.078	733	10.323.869
Plástico Mole	17,3%	142.849	35	49.997	817	40.831.037
Papel	**12,1%**	**99.978**		**54.508**		**24.848.651**
Papel Branco	8,3%	68.776	46	31.637	530	16.767.622
Papelão	3,8%	31.202	73	22.871	353	8.081.029
Metais	**2,6%**	**21.766,70**		**10.101,24**		**7.088.384**
Metais Ferrosos	2,0%	16.553	50	8.276	357	2.951.884
Metais Não Ferrosos	0,6%	5.214	35	1.825	2.267	4.136.500
Total	**36,8%**	**304.816**		**128.684**		**83.091.942**

Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de CEMPRE (2010); Salvador (2012 - b); ABM (2011); PLASTIVIDA (2011).

Como qualquer processo de produção, a reciclagem industrial mecânica é, em si, um processo poluente. Desta forma, a reciclagem enquanto processo produtivo possui também um passivo ambiental, que pode ser contabilizado, por exemplo, como emissões de CO2 geradas no processo de reciclagem. Por outro lado, sabe-se que a produção de bens de consumo finais e intermediários a partir de matérias primas secundarias proporciona economia de energia e água. Desta forma, o balanço ambiental da reciclagem varia de acordo com cada material e deve ser feito através da Analise de Ciclo de Vida especifico á cada realidade produtiva.

3 ESTRUTURA ECONÔMICA E INSTITUCIONAL DA CADEIA DE RECICLAGEM

Este capítulo discorre sobre os aspectos institucionais à cadeia produtiva da reciclagem. Será realizada a descrição do mercado de reciclagem, com a caracterização dos agentes que nele atuam e a distribuição espacial das atividades econômicas. Em seguida, será apresentada a legislação que rege as instituições relacionadas à cadeia de reciclagem. o histórico da atividade e a configuração da cadeia produtiva da reciclagem e a legislação que regem o setor reciclador. Por fim, é explicitada a problemática que envolve a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) em relação à escolha das rotas tecnológicas alternativas de reciclagem e como este trabalho pretende abordar estas questões. Serão ressaltados os principais artigos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e a sua relação com as alternativas tecnológicas da recuperação de resíduos.

3.1 INDÚSTRIA, MERCADO E CADEIA PRODUTIVA DA RECICLAGEM

De acordo com Grupo de Estudos de Relações Intersetoriais (2009) e Carvalho (2009), existem vários agentes envolvidos no mercado de reciclagem. Podem ser elencados os seguintes: 1) Fonte geradora; 2) Serviço de Limpeza Urbana (SLU) 3) Catadores; 4) Intermediários (também denominados sucateiros, deposeiros ou atravessadores); 5) Indústria recicladora; 6) Indústria de embalagens. Estes atores desempenham funções bem definidas na articulação da coleta, separação e comercialização, e transformação de materiais recicláveis. O processo inicial (etapas 1 e 2) é o mesmo para ambas as rotas de reciclagem, energética e mecânica. A diferenciação na rota tecnológica começa na presença ou não do catador de materiais recicláveis para fazer a triagem do material.

No caso da reciclagem energética, a tecnologia *mass burn* não necessita de triagem previa de materiais recicláveis por grupo. Do material encaminhado para incineração, são retirados apenas alguns metais, através de peneiras magnéticas automatizadas. Após a combustão, a energia térmica gerada é transformada em eletricidade e entra nas linhas de transmissão até as distribuidoras de energia elétrica ao consumidor final ou utilizado por autoprodutores.

No caso da reciclagem mecânica, a etapa inicial da reciclagem é a coleta e triagem dos RSU.

Segundo Oliveira Filho e Freitas (2009), o conjunto de ações requeridas no processo pré-industrial de reciclagem é chamado de “recuperação da matéria-prima”, que inclui a sua limpeza e prensagem e/ou enfardamento. Este processo deixa o material pronto para ser utilizado pela indústria de transformação como matéria-prima secundária. Desse modo, a ordem de apresentação das etapas 1 a 6 expressa o fluxo pelo qual passa o material reciclável.

Segundo pesquisa realizada por Martins et al (2005), a formação de preços no mercado de reciclagem se enquadra na estrutura de mercado Oligopsônica. Esta é caracterizada por inúmeros vendedores de materiais recicláveis e poucos compradores. Logo, a formação de preços ocorre por parte do comprador, que é a indústria recicladora e / ou transformadora.

A fonte geradora é definida como um conjunto de agentes que promovem o descarte de sucata. Por sucata entende-se todo resíduo passível de reaproveitamento após o seu consumo produtivo ou final. Neste sentido, é possível dividir os resíduos sólidos conforme seus processos geradores da seguinte forma: pós – industrial, pós- consumo e pós – destino final (BRITO, 1994 *apud* PIMENTEIRA, 2002).

Os catadores representam uma parcela da população marginalizada socioeconomicamente, que encontra na coleta de materiais recicláveis a única forma de garantir a sua sobrevivência diária. Desde 2001, com a criação do Movimento Nacional de Catadores de Materiais Recicláveis (MNCR), estes trabalhadores vêm buscando uma maior organização por meio de cooperativas. Os catadores unem esforços para a realização da coleta, triagem e comercialização em condições mais dignas de trabalho e renda. Desse modo, já obtiveram reconhecimento pelo referido trabalho através da sua introdução na Classificação Brasileira de Ocupações (CBO).

O cadastro do Programa Bolsa Família do Ministério do Desenvolvimento Social (MDS) mostra a existência de mais de 800 mil pessoas cadastradas como catadores de materiais recicláveis em todo o país (GONÇALVES, 2012). O autor estima que este número chegue a mais de 1 milhão de catadores. Considerando o núcleo familiar destas pessoas, estima-se que cerca de três a quatro milhões de pessoas sobrevivam da renda gerada pela coleta de materiais recicláveis atualmente no Brasil. No entanto, o numero de catadores cooperativados é avaliado em 32 a 35 mil (menos de 5% do total). Apesar do avanço na reintegração social e econômica dos catadores pela qual a união cooperativista é um dos fatores responsáveis, estas

unidades são estrutural e organizacionalmente heterogêneas.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) prevê uma serie de instrumentos econômicos para a criação e desenvolvimento de cooperativas. O objetivo da PNRS é alinhar o processo de manejo e reciclagem de RSU com a efetiva inclusão social e econômica dos catadores. O incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis é uma das questões centrais da PNRS. Os incentivos fiscais, financeiros e creditícios são os instrumentos econômicos previstos para atingir tal objetivo.

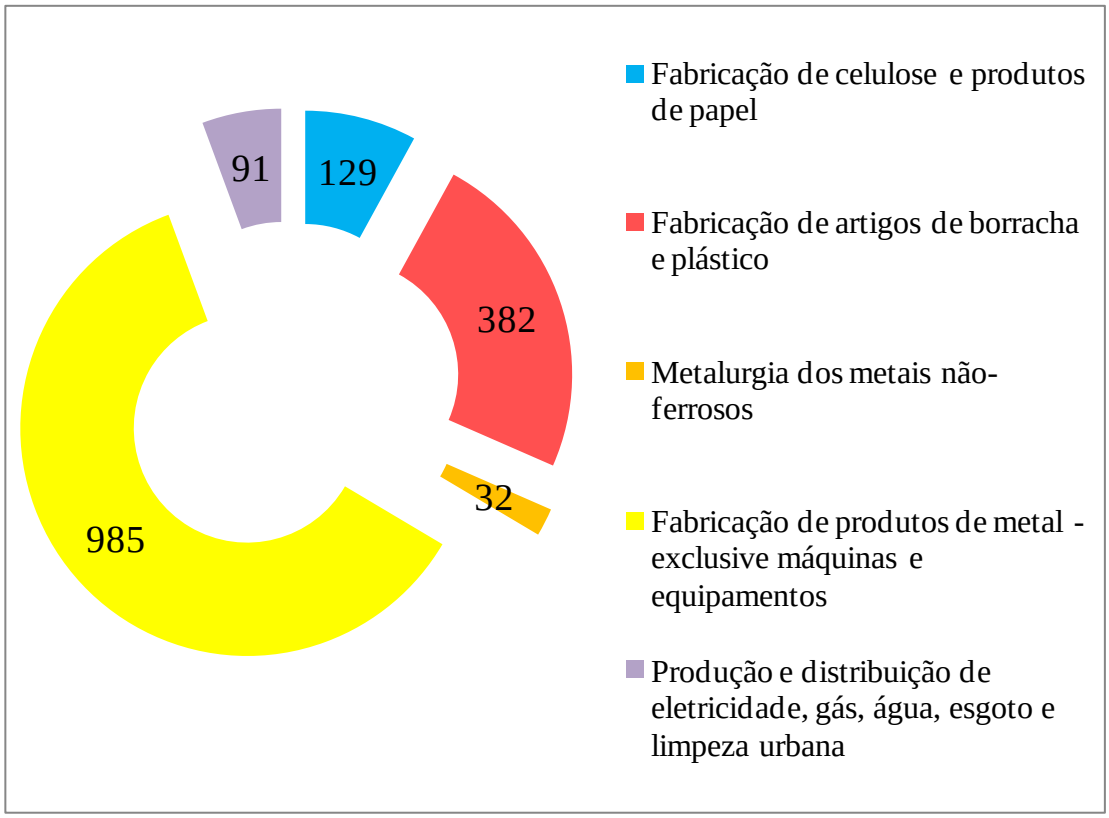
Na cadeia de produção e comercialização de recicláveis, os atravessadores, também conhecidos como intermediários ou sucateiros, têm a função de juntar certo volume de recicláveis. Este volume corresponde à quantidade mínima exigida pela indústria recicladora a fim de proporcionar ganhos de escala para a mesma, e varia em função do tipo de material. A indústria exige que o material que chega às suas unidades tenha um rígido controle de qualidade de limpeza. Outra exigência da indústria está relacionada à regularidade com que o material reciclável deve ser fornecido à mesma. A produção industrial necessita de continuo aproveitamento de seus recursos produtivos em dado período de tempo. Desta forma, os intermediários garantem fluidez, escala e qualidade ao fluxo de materiais recicláveis para a indústria, requisitos que o catador desorganizado não seria capaz de atender, por não possuir estrutura material para cumprir as referidas exigências (GRUPO DE ESTUDOS DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS, 2008b).

O estado da Bahia é o nono em numero de estabelecimentos do código Recuperação de materiais (CNAE 383), com 106 estabelecimentos. Este número equivale a 3,7% do total nacional (2.813 estabelecimentos). (BRASIL, 2013-b). No código do Sistema de Contas Nacionais (SCN), essa atividade se enquadra no setor de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (401).

A distribuição do numero de estabelecimentos por CNAE da indústria transformadora de materiais recicláveis e da indústria de geração e transmissão de energia elétrica no estado da Bahia pode ser visualizada no Gráfico 2. O maior numero de unidades industriais é da Fabricação de produtos de metal – exclusive maquinas e equipamentos (985 estabelecimentos) seguido da Fabricação de artigos de borracha e plásticos (382 estabelecimentos). O terceiro maior numero de estabelecimentos é encontrado no setor de Fabricação de celulose e produtos de papel (129

estabelecimentos). Do setor de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana existem 91 estabelecimentos no estado da Bahia. O menor numero de estabelecimentos é creditado ao setor de atividade de Metalurgia de metais não ferrosos (32 estabelecimentos). É possível inferir que as indústrias recicladoras de metais e de plásticos são as mais representativas em numero de estabelecimentos no estado da Bahia. Desta forma, o numero de estabelecimentos deve ser visto como um indicador do grau de concentração da indústria e do desenvolvimento da cadeia produtiva de uma determinada atividade.

Gráfico 2 - Numero de estabelecimentos por CNAE da indústria transformadora de matéria prima reciclável e reciclada, em 2012.



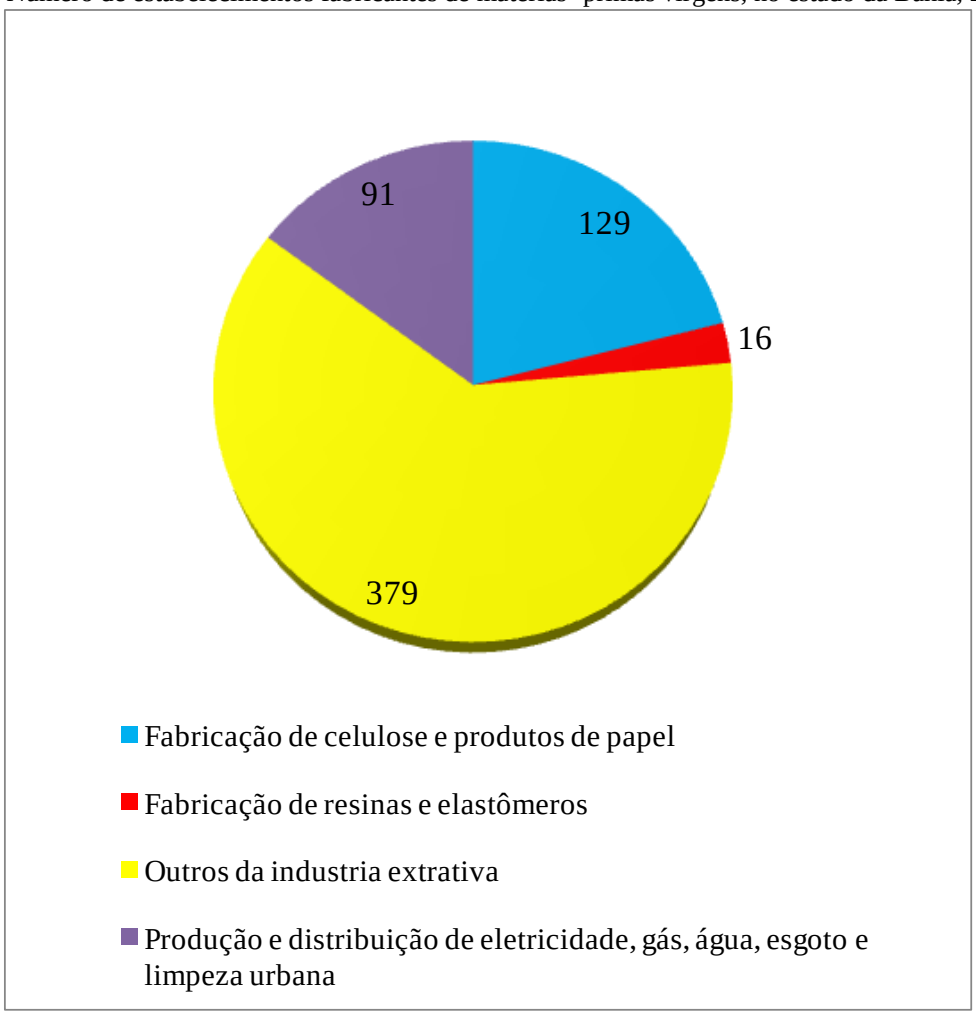
Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Brasil (2012-b).

A substituição de matérias – primas virgens por matérias primas secundárias nestas indústrias recicladoras, tanto na tecnologia de reciclagem mecânica quanto energética, implica na redução da demanda por matéria prima virgem. Este efeito é sentido diretamente pelas indústrias fabricantes de matérias –primas virgens, cujo numero de estabelecimento por setor é mostrado no Gráfico 3. No caso da reciclagem mecânica, os minerais metálicos virgens são fabricados no setor de Outros da indústria extrativa (304), o qual possui 379 estabelecimentos no estado da Bahia. A celulose para fabricação de papel é fabricada pelo setor de Fabricação de celulose e produtos de papel, que possui 129 estabelecimentos e o plástico virgem é

fornecido pelo setor de Fabricação de resinas e elastômeros (312), cujo total de estabelecimentos, no estado, é de 14 unidades. No caso da reciclagem energética, o setor de atividade de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (401) gera energia elétrica a partir de outras fontes energéticas, possui 91 estabelecimentos. Com isso, observa-se que o setor de metal, no estado da Bahia, é o menos concentrado, pois tem o maior numero de estabelecimentos, tanto no setor extrativo mineral ofertante de matéria prima – virgem quanto no setor de transformação de matérias-primas.

Ressalta-se que a agregação dos setores de Fabricação de celulose e produtos de papel e Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana aparecem como demandantes de material reciclável e produtores de matéria prima virgem, devido à agregação do Sistema de Contas Nacionais.

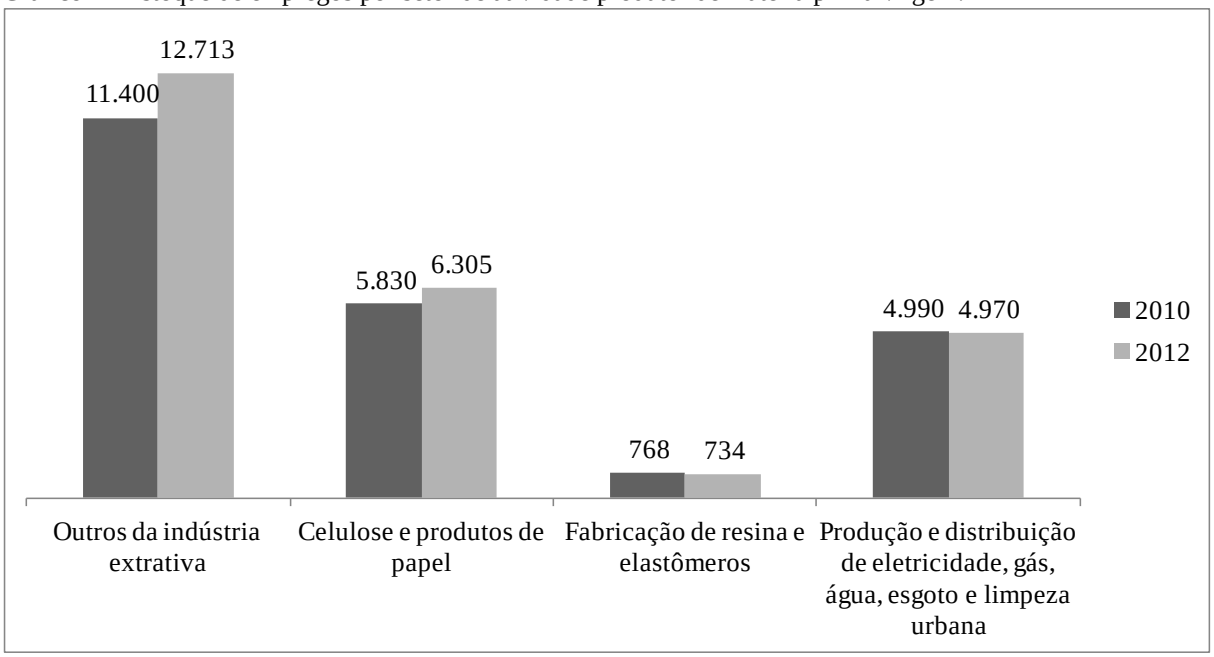
Gráfico 3 - Numero de estabelecimentos fabricantes de matérias- primas virgens, no estado da Bahia, 2012



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Brasil (2012-b).

No Gráfico 4, é possível observar o estoque de emprego formal dos setores produtores de matéria prima virgem. No cômputo geral, os quatro setores considerados são responsáveis por um estoque de emprego de 24.741 pessoas. Este valor representa cerca de 1% do estoque de empregos do estado da Bahia, em 2012[13]. Desse total, mais de 51% ou 12.732 empregos são atribuídos ao setor de Outros da indústria extrativa. O restante se distribui entre Fabricação de celulose e produtos de papel, com 25,5% e Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana, com 20% do total. O menor estoque de empregos, entre os setores considerados, é encontrado no setor de Fabricação de resinas e elastômeros, com apenas 3% do total.

Gráfico 4 - Estoque de empregos por setor de atividade produtor de matéria prima virgem.



Fonte: Elaboração própria, a partir de Brasil (2010 -d; 2012-b).

Diante desta estrutura da indústria e do mercado de materiais recicláveis, o processo de formação de preços ao longo da cadeia de comercialização e produção pode ser dividido em duas etapas: 1) o preço mínimo pago pelo produto é determinado pelo atravessador, 2) O preço máximo, é determinado pela indústria recicladora, que paga ao atravessador um valor que reflete entre outros fatores, a importância da escala, regularidade e qualidade do material reciclável ofertado. A formação de preços dos materiais recicláveis é também uma função do preço da matéria prima virgem. Os catadores são o elo economicamente mais frágil da cadeia produtiva e têm pouco poder de barganha para impor o preço de venda dos materiais recicláveis que coletam. Desta forma, a organização em cooperativas mostrou-se a maneira

[13] Segundo o Brasil (2012-b), o estoque de empregos no estado da Bahia era de 2.256.621 postos de trabalho ativos em 31/12/2012.

mais eficaz de fazer com que os catadores consigam maiores preços pelos materiais recicláveis. Maiores preços geram maiores receitas, levando ao aumento da fatia de renda apropriada pelos catadores na cadeia da reciclagem de RSU (GRUPO DE ESTUDOS DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS, 2009).

3.2 HISTÓRICO DA RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

A reciclagem enquanto atividade economicamente rentável tem seu inicio durante a segunda guerra mundial nos Estados Unidos, com o slogan *"Get some cash for your trash"* [14]. Os esforços materiais da grande guerra e do período pós- guerra levaram a uma maior pressão da demanda por matérias primas para a fabricação de artigos de borracha, papel, alumínio, madeira, tecidos e outros. Em todos os países, que de alguma forma se envolveram no conflito bélico mundial, se instalaram campanhas para a "doação" dos materiais para serem reaproveitados pela indústria de transformação (STRASSER, 1999). Dessa forma, a reciclagem de RSU seria um "*spin off*" derivado das inovações tecnológicas ocorridas no período que compreende as duas grandes guerras mundiais, na primeira metade do século XX.

A reciclagem, até então, era pouco debatida devido à cultura de reaproveitamento dos materiais e parcimônia no uso dos recursos, que perdurou até o pós guerra. Segundo Strasser (1999) em seu livro "*Waste and Want: a social history of trash*" não havia a cultura de consumismo desenfreado e tampouco a cultura de jogar fora os bens velhos. Apenas a partir da década de 70 o mundo passa a falar sobre a reutilização e reciclagem. Isso porque a descartabilidade dos novos produtos e a generalização da obsolescência programada levou ao começo dos problemas sobre o manejo de resíduos sólidos.

Os registros do uso da incineração para a redução do volume de resíduos sólidos dispostos em aterros ou lixões existem desde o século XVIII. Entretanto, só a partir da segunda metade da década de 1960 é que esta tecnologia passa a ser usada para geração de energia elétrica. (MORGADO; FERREIRA, 2006). No Brasil, o primeiro incinerador foi instalado em fins do século XIX no estado da Amazônia. Na década de 1970 foi iniciada a fase de implantação de incineradores para resíduos perigosos. Até o presente momento, não há registros de plantas de incineração de RSU com finalidade de geração energética no Brasil (CLIMATE WORKS,

[14] Literalmente "ganhe um troco por seu lixo".

2012).

Na década de 80 surge o termo “Eco desenvolvimento”, formulado por Ignacy Sachs, que viria a ser o embrião do conceito de desenvolvimento sustentável. A partir de então, começam a serem estudados os aspectos econômico, sociais e ambientais da geração de resíduos decorrente de atividades de consumo e produção. Desde o relatório “Nosso Futuro Comum” de 1987, mais conhecido como relatório de Brundtland, que formulou o propalado conceito de desenvolvimento sustentável passando pela realização da conferencia ECO92 no Brasil, a preocupação ambiental tomou força nos debates sobre crescimento econômico e sua relação com o uso de recursos naturais. Dentro desse contexto, surge uma nova conotação da palavra reciclagem, diferente do que se usava no pós-guerra e inaugura-se o que se chama de “pedagogia” ou conceito dos três Rs – Reduzir, Reutilizar e Reciclar (GOLDEMBERG, 2012).

As mercadorias industriais resultam da transformação de recursos naturais, muitos deles não renováveis. Logo, surgem as teorias da economia do meio ambiente e da economia ecológica para sistematizar as relações entre economia e recursos naturais. A integração disciplinar entre as áreas de economia, direito, biologia, engenharia e outras ciências correlatas, fez com que surgissem conceitos como Ecologia Industrial, “Eco eficiência”, Teoria do Poluidor - pagador e Teoria dos Custos Sociais. Estas teorias buscam dar sustentação à racionalização da questão da utilização sustentável dos recursos naturais, compatível com o atual estagio de desenvolvimento das forças de produção capitalistas.

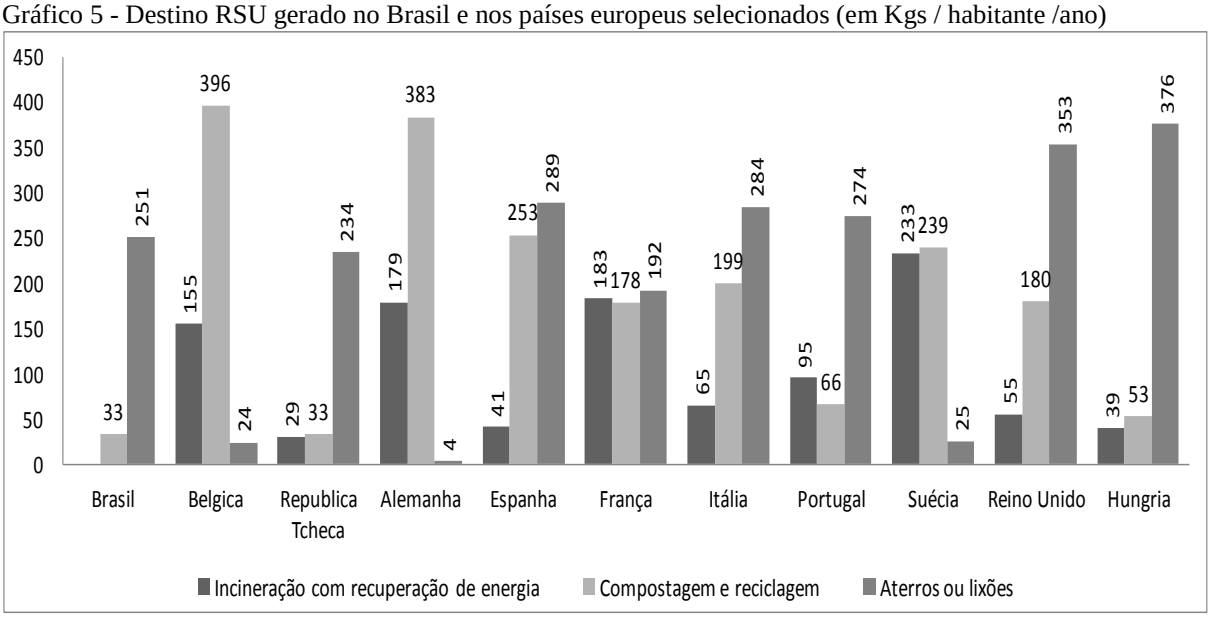
3.3 A RECICLAGEM DE RSU NO MUNDO

A composição e a quantidade de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) gerados dependem do nível de desenvolvimento dos países. Por este motivo, a geração per capita de RSU no Brasil representa, aproximadamente, metade do montante gerado nos países da Europa. (CEMPRE, 2010). Nestes países, são registradas as maiores taxas globais de reciclagem. Na Suécia, por exemplo, este índice chega a 43,6% dos RSU gerados, enquanto no Brasil se recicla apenas 12% dos RSU. Uma solução largamente utilizada pelos países do continente europeu e asiático é a incineração de RSU.

O Gráfico 5 apresenta o percentual do total de RSU destinado a cada um dos tipos de

ambientes de destinação final, em quilos por habitante, dos principais países europeus e o Brasil. Nos países europeus e Japão, um percentual muito baixo de resíduos chega aos aterros sanitários. Na Alemanha, por exemplo, apenas quatro quilos por habitante ao ano vão para os aterros. Considerando uma média de geração de 0,8 kgs /hab./dia, menos de 2% dos RSU gerados vão para os aterros sanitários da Alemanha anualmente. Na Suécia apenas 25 kgs. / habitante / ano vão para os locais de disposição final e RSU, enquanto no Brasil esse peso chega a 251 kgs/ hab. / ano, o que representa mais de 85% dos RSU gerados. Na Europa e Japão, grande parte dos resíduos é incinerada, com ou sem recuperação de energia ou encaminhada para compostagem e reciclagem mecânica. (CEMPRE, 2010).

Gráfico 5 - Destino RSU gerado no Brasil e nos países europeus selecionados (em Kgs / habitante /ano)



Fonte: Adaptado de Cempre (2010).

Nos países desenvolvidos socioeconomicamente, todo material que chega a ser reciclado mecanicamente é derivado da coleta seletiva, pois não contam com a presença de catadores de materiais recicláveis. A existência desta profissão é associada a países em situação com acentuada desigualdade socioeconômica, como a encontrada nos países da America Latina, Caribe, continente africano, além do Sudeste asiático, como a Índia. Figueiredo (2012) analisa a gestão de RSU em países em periféricos. O autor cita um documento da Organização Internacional do Trabalho, produzido por Masalías e Nureña (2004). Para Figueiredo (2012), as deficiências de na gestão de RSU aliadas ao valor de mercado que os materiais recicláveis têm na cadeia produtiva, são fatores que levam à população de baixa renda e em situação de vulnerabilidade social, sem qualificação profissional, a obter renda com a coleta e triagem informal de materiais recicláveis.

A geração de energia através da queima de RSU é relativamente recente. Nem todas as plantas de incineração possuem esta capacidade. A Tabela 2 mostra os países mais proeminentes da Europa e o Japão, com dados sobre população, geração de lixo (em milhões de toneladas ano), nº de incineradores instalados no país até o ano de 1997, o percentual de RSU incinerado e qual é o percentual de incineradores instalados que têm tecnologia para recuperação energética. Os países europeus e o Japão tem uma notória escassez de fontes tradicionais de energia elétrica. O alto preço da eletricidade derivada desta escassez, mantêm os preços de eletricidade elevados nestes países. Essa escassez de energia elétrica, associada à inexistência de catadores de materiais recicláveis, diminui o custo de oportunidade de geração de energia elétrica através dos resíduos sólidos neste países.

Para Tello (2001) e Figueiredo (2012), a gestão de resíduos fundamentada no uso intensivo de tecnologias que trabalham em escala muito elevada de produção deve ser encarada com cautela. A escala pode incentivar a ampliação da geração de resíduos "uma vez que a eficiência desse modelo de gestão vem acompanhada da necessidade de quantidades crescentes de resíduos". Neste contexto, os formuladores de políticas publicas devem estar atentos para que a escolha das tecnologias de tratamento de resíduos não gere um *feed back* positivo na geração. Em outras palavras, as tecnologias devem operar em escalas que não dependam de quantidades crescentes de resíduos para viabilizá-las economicamente.

Um exemplo contundente dos problemas associados à escala de operação de determinadas tecnologias de reciclagem é a questão da incineração na Alemanha. Na década de 60, cidades como Stuttgart, Colônia e Bremen optaram pela incineração de resíduos sólidos com geração de energia elétrica para enfrentar o problema do tratamento de RSU. A usina de Bremen, por exemplo, tem a capacidade de incinerar 550 mil toneladas de lixo por ano, enquanto a usina de Stuttgart tem capacidade para incinerar 225 mil toneladas ano. Em Bremen, são gerados 270 GWh por ano de energia elétrica O preço mínimo pago por tonelada incinerada é garantido em contrato. (CONNETT, 2013).

No entanto, desde as décadas de 60 e 70, novos paradigmas ambientais foram formulados. De acordo com Connett (2013), o incentivo às tecnologias limpas e o desenvolvimento do setor de reciclagem mecânica tem aumentado significativamente. Isto porque a legislação ambiental alemã passou a proibir a incineração de resíduos que podem ser reciclados mecanicamente. O

resultado foi à redução drástica dos resíduos que chegam para as usinas de valorização térmica na Alemanha. Isto gerou um problema para os administradores públicos. Estes não mais conseguiam garantir a viabilidade técnica e econômica mínima estabelecida em contrato com as usinas de incineração. A solução adotada foi à importação de resíduos de outros países para manter as operações em patamares minimante viáveis das usinas. Como resultado, a Alemanha é, atualmente, um importador de resíduos para alimentar as usinas de tratamento térmico.

Atualmente, o Brasil passa por um período de redefinição da sua gestão de resíduos sólidos, com o advento da PNRS. As decisões técnicas e políticas que estão sendo tomadas na construção dos planos municipais e intermunicipais de gestão de resíduos definirão a trajetória tecnológica neste segmento pelas próximas décadas. Estas escolhas tornarão o sistema de gestão de RSU dependente, no futuro, da trajetória tecnológica eleita no presente. Não obstante as diferenças socioeconômicas entre países como Brasil e Alemanha, é necessário compreender as experiências de países que já avançaram na gestão de resíduos, para não cometer erros semelhantes.

Tabela 2 - Incineração e geração de energia elétrica nos países desenvolvidos, em 2000.

Paises	**População (milhões)**	**Geração de lixo (milhões t. /dia)**	**Nº de incineradores**	**% incinerado**	**Recuperação de energia**
Suiça	7	2,9	29	80	80%
Japão	123	44,5	1893	72	Principais
Dinamarca	5	2,6	32	65	100%
Suécia	9	2,7	21	59	100%
França	56	18,5	100	41	68% da capac.
Holanda	15	7,1	9	39	50% das usinas
Alemanha	61	40,5	51	30	
Itália	58	15,6	51	17	30% da capac.
USA	248	180	168	19	75% das usinas
Espanha	38	11,8	21	15	24% das usinas
Reino Unido	57	35	7	5	25% da capac.

Fonte: Menezes *et al* (2000).

3.4 LEGISLAÇÃO SOBRE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

No Brasil, o Sistema de Limpeza Urbana (SLU) que inclui coleta, transporte e destinação final ambientalmente adequada dos RSU, faz parte dos serviços de saneamento, de acordo com a definição do Plano Nacional de Saneamento Básico, de acordo com a Lei nº

11.445/07[15]. A concepção da Política Nacional de Resíduos Sólidos, dada pela Lei 12.305 / 2010 ocorre em consonância com a Lei n°s 11.445/07, que institui a Política Nacional de Saneamento Básico. Além desta matriz legal, também existem outras bases institucionais que norteiam a PNRS. Podem ser citadas a Lei nº 9.974 / 00, que dispõe sobre a gestão de embalagens de agrotóxicos e a Lei nº 9.966 / 00 [16] que dispõem sobre o lançamento de resíduos e efluentes em corpos d'água sob jurisdição nacional. Além da legislação associada, a PNRS atende também às normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS), do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa) e do Sistema Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (Sinmetro).

Entre os principais destaques positivos da lei de resíduos sólidos[17] está à exigência de planos de gestão de resíduos sólidos aos três níveis de poder, nacional, estadual e municipal. O plano nacional e os planos estaduais de gestão dos resíduos sólidos são vigentes por prazo indeterminado, com horizonte de atuação de 20 (vinte) anos. As revisões devem ocorrer a cada 4 (quatro) anos. Os planos municipais têm sua revisão feita observando-se o período de vigência dos planos plurianuais municipais (BRASIL, 2010-a). Destaca-se ainda a meta de erradicação de lixões em todo o território nacional até 2013, além da ênfase dada à integração do catador, organizado em cooperativas, no sistema de Gestão de Resíduos Sólidos.

Em 2003, foi criado o Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Lixo, nome mais tarde alterado para Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis (CIISC). Sob a coordenação da Secretaria Geral da Presidência da República, o CIISC é composto por 12 ministérios, três secretarias federais, quatro fundações, além da Caixa Econômica Federal e do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. O principal projeto do qual o CIISC é encarregado é o Programa Pró-Catador. O objetivo deste Programa é orquestrar as ações do Governo Federal com as necessidades e demandas dos catadores, promovendo organização produtiva e melhorias de trabalho em geral para este segmento.

---

15 Segundo a Lei 11.445 /2007 que Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; e dá outras providências, a definição de saneamento básico: "o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem de águas pluviais urbanas." (BRASIL, 2007 - c).

16 Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9966.htm> e <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=636>

17 No Quadro 1 do Anexo I estão listados os principais destaques da PNRS.

Em 2010, foram criados outros dois comitês, pelo Decreto nº 7.404 /10, com o objetivo de levar a cabo as diretrizes da PNRS. O Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos tem a "[...] finalidade de apoiar a estruturação e implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, por meio da articulação dos órgãos e entidades governamentais, de modo a possibilitar o cumprimento das determinações e das metas previstas na Lei nº 12.305, de 2010." Já o Comitê Orientador para Implementação de Sistemas de Logística Reversa é formado pelos ministérios do Meio Ambiente, da Saúde, da Fazenda, da Agricultura, Pecuária e Abastecimento e do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Sua finalidade é definir regras de logística reversa e orientar os agentes responsáveis para efetuarem a devolução dos resíduos com valor econômico e passível de reciclagem ou reuso, encaminhando-o à indústria, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos.

O Grupo Técnico de Assessoramento do Comitê Orientador para Implementação de Sistemas de Logística Reversa divide a logística reversa em cinco cadeias prioritárias, quais sejam: i - descarte de medicamentos; ii - embalagens em geral; iii - embalagens de óleos lubrificantes e seus resíduos; iv - lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, v - e eletroeletrônicos. Apenas a cadeia de "embalagens em geral" será analisada de forma mais detalhada neste trabalho, pois ela compõe grande parcela dos RSU.

O Grupo Técnico Temático nº 2 (GTT2) do Comitê Orientador para Implementação de Sistemas de Logística Reversa é responsável pela logística reversa de embalagens em geral. Segundo a descrição do GTT2 "O setor de embalagens é objeto de implementação de logística reversa de forma prioritária, seja pela previsão legal, seja pelo fato de que se trata de um dos maiores geradores, em volume, de resíduos que são dispostos de forma inadequada no país." A preocupação do GTT2 com as embalagens em geral corrobora os motivos que orientaram a escolha do objeto desta dissertação, que diz respeito ao retorno do RSU ao ciclo produtivo. É o grupo de resíduos que tem maior participação no volume gerado e que tem sido disposto de forma ambientalmente inadequada pelos municípios.

Na perspectiva dos princípios da PNRS, foram elaborados instrumentos legais de incentivo econômico para o desenvolvimento da cadeia de comercialização e produção da reciclagem. O Decreto nº 5.940, de 2006, é considerado um marco neste sentido, ao estabelecer a

obrigatoriedade da “separação dos resíduos recicláveis descartados pelos órgãos e entidades da administração pública federal direta e indireta, na fonte geradora” e ainda garantir a destinação dos resíduos recicláveis separados às associações e cooperativas dos catadores de materiais recicláveis, para promoção da inclusão social.

O governo federal tem feito esforços fiscais e tributários para incentivar a economicidade da reciclagem e a reutilização de Resíduos Sólidos. O Decreto nº 7.619 /11 “Regulamenta a concessão de crédito presumido do Imposto sobre Produtos Industrializados (IPI) na aquisição de resíduos sólidos”. Os descontos variam de 10% a 50%, a depender do tipo de resíduos reciclado pela indústria de acordo com a classificação da Tabela de incidência do IPI. O maior desconto, de 50% é para as indústrias que demandarem aparas de plástico e resíduos de vidro. A reciclagem de papel, papelão e de metais ferrosos recebe incentivo de 30% de desconto no IPI. A indústria que efetua a reciclagem de metais não ferrosos em geral, incluindo cobre e alumínio, recebe desconto de 10% sobre o IPI.

Existem ainda as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que regulamentam a entrada e a importação de resíduos em território nacional. A resolução CONAMA nº 8, de 19 de setembro de 1991, veta a entrada de resíduos para disposição final e incineração no Brasil. A Resolução CONAMA nº 235 de 1998 determina que os resíduos perigosos de Classe I e Classe III tenham a importação proibida. Somente os resíduos Inertes Classe II podem ser importados, mediante o controle do IBAMA. O comercio internacional de sucatas é uma variável importante para a definição de rotas tecnológicas de reciclagem, devido às limitações impostas pelo CONAMA. Pode ser exemplificada a Rota A, da incineração, que não pode contar com importação de resíduos para garantir escala de processamento.

O conjunto das iniciativas do Governo Federal para modernizar a gestão de resíduos culminou no Sistema Nacional de Informações sobre Gestão de Resíduos (SINIR) [18]. Vinculado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Sistema Nacional de Informações sobre Resíduos Sólidos (SINIR) é o instrumento da PNRS para disseminação de informações e estudos. As informações disponibilizadas no site devem balizar o planejamento das ações dos governos,

[18] Disponível em: <www.sinir.gov.br>

empresas e demais membros da sociedade identificados no conceito de responsabilidade compartilhada regulamentado na PNRS.

No âmbito da evolução institucional da reciclagem nacional, uma proposta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos se encontra disponível no site do SINIR, desde fevereiro de 2012. O Plano Estadual de Resíduos Sólidos do estado da Bahia está em tramitação na Assembléia Legislativa do estado, sob a forma de Projeto de Lei nº 20.350 / 2013. Quanto ao plano municipal de resíduos sólidos do município de Salvador, até a presente data, não existe documento oficial que o represente. Dentro deste contexto institucional, os principais pontos positivos a serem destacados da PNRS são: a normatização da gestão integrada dos resíduos sólidos; a erradicação de lixões até 2013; a obrigatoriedade da elaboração de planos de gestão integrada por parte de estados e municípios, como requisito para a obtenção de recursos federais para o saneamento. Por fim, destaca-se a normatização da responsabilidade compartilhada entre os geradores e o Serviço de Limpeza Urbana (SLU) em relação à logística reversa dos resíduos sólidos, com a inclusão preferencial dos catadores de materiais recicláveis.

A PNRS define gestão integrada de resíduos sólidos como "[...] conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável". Por sua vez, o gerenciamento de resíduos sólidos é composto por um conjunto de ações realizadas de forma direta e indireta nas etapas de coleta, transporte, transbordo tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Estas ações são normatizadas pelo plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou pelo plano de gerenciamento de resíduos sólidos das empresas, exigidos pela PNRS.

3.5 MANEJO E DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS NO MUNICÍPIO DE SALVADOR

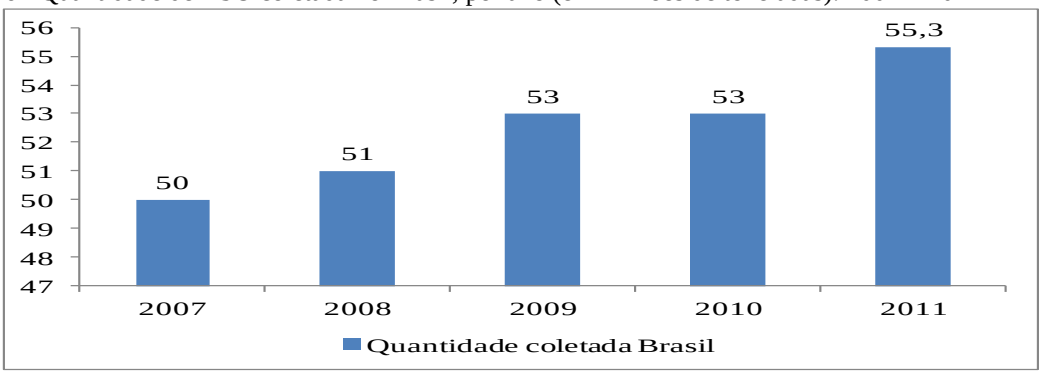
Esta seção apresenta a situação do manejo e disposição de Resíduos Sólidos no Brasil, no estado da Bahia e no município de Salvador. Serão abordadas questões sobre quantidade de RSU gerados, a governança dos serviços de manejo e disposição. Com isto, espera-se familiarizar o leitor com a realidade da gestão de RSU local.

3.5.1 Manejo e disposição no Brasil

A prestação dos serviços de manejo e disposição final de resíduos sólidos faz parte das ações de gerenciamento dos resíduos sólidos previstas na PNRS. O objetivo o gerenciamento de resíduos previsto na PNRS é integrar a coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. Nessa cadeia, a reciclagem entra no sistema de gerenciamento como uma atividade de tratamento dos resíduos.

Em todo o mundo, os 6,6 bilhões de habitantes geram cerca de 2 a 3 bilhões de toneladas de resíduos sólidos por dia[19]. (CEMPRE, 2010). De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico de 2008, o Brasil apresenta 5.553 municípios com existência de serviços de coleta de RSU. Isso equivale a 99,8% do total de 5.564 municípios brasileiros. Em 2008, estes municípios geraram, aproximadamente, 183 mil toneladas de RSU por dia, equivalente a, aproximadamente, 51 milhões de toneladas por ano. O Gráfico 6 mostra que entre 2007 e 2011, houve incremento de 7,01%

Gráfico 6 - Quantidade de RSU coletada no Brasil, por ano (em milhões de toneladas). 2007 – 2011



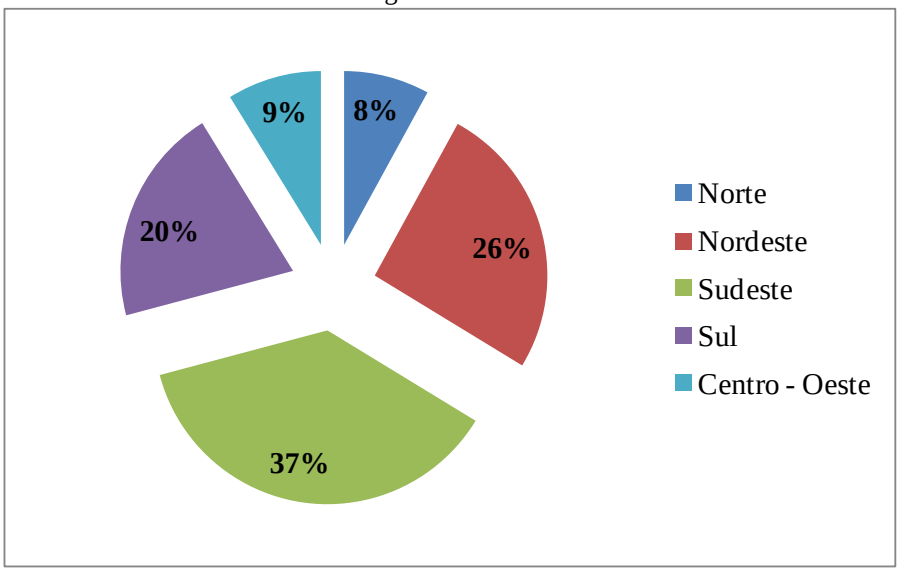
Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Brasil (2007 –b a 2011).

A distribuição da quantidade de resíduos sólidos domiciliares e públicos coletada por região do Brasil pode ser observada no Gráfico **7**. A Região Sudeste, com 1.665 municípios, é a região com maior volume de resíduos coletados, com 68.181 toneladas /dia ou 37% do total. A região com menor participação no indicador é a Região Norte, onde 449 municípios são atendidos pelos serviços de coleta de RSU, somando 14.639 toneladas dia de RSU ou cerca de

[19] Considerando uma geração per capita média de 0,5 gramas de RSU por habitante dia, temos uma geração anual de RSU próxima dos 700 bilhões de toneladas, num cenário "otimista".

8% do total nacional. A região Nordeste, com 1.788 municípios, está na segundo posição entre as regiões, sendo a responsável pela geração de 47.206 ton. / dia ou 26% do total de RSUs coletados diariamente no Brasil.

Gráfico 7- Distribuição dos resíduos domiciliares e públicos coletados gerados no Brasil, por dia, segundo as Regiões do Brasil



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Brasil (2008-a).

3.5.2 Manejo e disposição de Resíduos Sólidos Urbanos no estado da Bahia

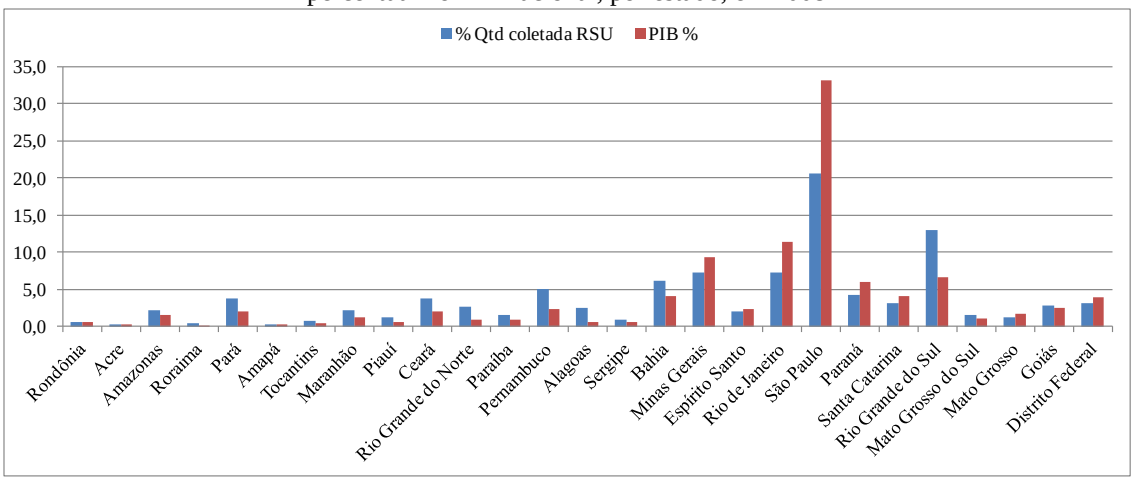
Se a quantidade coletada de RSU é uma proporção da renda de determinada sociedade, o estado da Bahia tem participação percentual na geração de RSU nacional mais que proporcional à sua participação percentual no Produto Interno Bruto nacional. O estado da Bahia possui o sétimo maior PIB entre as Unidades da Federação, pois, produz em média 4,2% do PIB nacional[20]. No entanto, com a coleta diária de 11 mil toneladas de RSU[21], o estado da Bahia produz 6% do total nacional de RSU, sendo o quinto estado com maior quantidade de RSU coletada entre as Unidades da Federação. Na comparação com os estados do nordeste, o estado da Bahia apresenta maior quantidade coletada de RSU e valor do PIB estadual.

A relação RSU coletado e PIB, por unidade da federação, é um bom indicador de eficiência ambiental da produção de bens e serviços. O descolamento entre a participação do estado da Bahia no PIB nacional (7º lugar) e na quantidade de RSU coletada nacionalmente (5º lugar)

[20] Brasil (2009-d).
[21] Brasil (2008-a).

mostra uma relação custo beneficio desfavorável quando consideradas as variáveis ‘quantidade coletada de RSU’ e ‘PIB estadual’. Uma das explicações para este fato pode ser encontrada analisando-se o desempenho de dois dos estados da Região Sul, Paraná e Santa Catarina. Ambos têm posição superior ao do estado da Bahia na participação do PIB nacional, porém com menor quantidade coletada de RSU em relação ao total nacional. Isso significa que a contribuição destes estados para o PIB nacional é mais do que proporcional à sua contribuição para a quantidade de RSU coletada nacionalmente. A comparação entre os estados pode ser feita graças à taxa de cobertura de coleta de RSU, muito próxima de 100% para todos os estados brasileiros.

Gráfico 8 - Comparação entre participação percentual na quantidade coletada de RSU nacional e participação percentual no PIB nacional, por estado, em 2008



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Brasil (2008 - a) e Brasil (2008 – b)

3.5.3 Manejo e disposição no município de Salvador

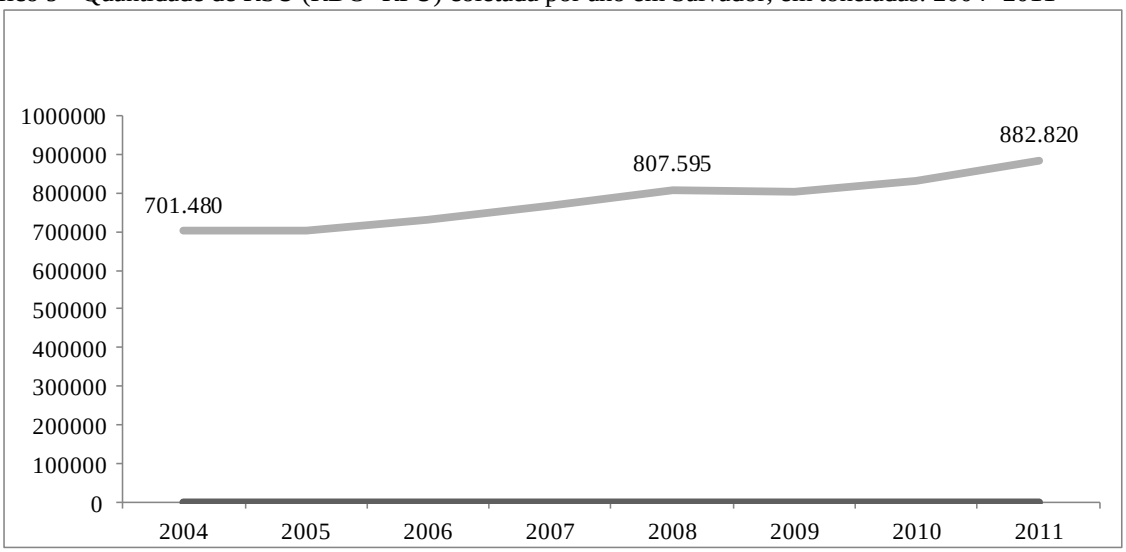
Do total de municípios brasileiros, apenas 990 municípios dispõem de serviços de triagem de Resíduos Sólidos recicláveis, o equivalente a 17,1% do total (BRASIL, 2008 - a). Entre os 14 municípios brasileiros com mais de um milhão de habitantes, este percentual sobe para, aproximadamente, 87,0%. Isso mostra que 12 dos 14 maiores municípios possuem o serviço de triagem de resíduos sólidos urbanos recicláveis.

O município de Salvador, capital do estado da Bahia, coleta pouco mais de 2,7 mil toneladas de resíduos por dia ou cerca de 830 mil toneladas por ano, que representa 19% do total coletado no estado. O município de Salvador atingiu, em 2010, um total de 2.480.790 habitantes. O município responde por aproximadamente 25% do PIB do estado da Bahia, em

segundo o IBGE (BRASIL, 2010-c). Dados de pesquisa da Empresa de Limpeza Urbana de Salvador (LIMPURB) sobre a caracterização física dos Resíduos Sólidos Urbanos de Salvador de 2010 indicam que a geração per capita de RSU no município chega a 1,10 kg por habitante / dia. Este valor está acima do divulgado pelo Ministério das Cidades de 0,92 kg/ hab./ dia (BRASIL, 2011- b). O valor da geração per capita de RSU divulgado em Salvador (2012) será o parâmetro utilizado nesta pesquisa e equivale a uma geração de aproximadamente 830 mil toneladas /ano ou cerca de 2.710 toneladas /dia de RSU no município, já que 99,9% da população são atendidas pelo Sistema de Limpeza Urbana de Salvador.

O Gráfico 9 apresenta as quantidades coletadas de RSU em Salvador entre 2004 e 2011. A tendência de quantidade coletada é crescente, com exceção do registrado no biênio 2008-2009, que registrou pequena queda na quantidade coletada no município. Em 2008, houve crescimento de 25,9% da quantidade de resíduos gerada em comparação com 2004.

Gráfico 9 - Quantidade de RSU (RDO+RPU) coletada por ano em Salvador, em toneladas. 2004- 2011



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Brasil (2011 - b).

Com relação à separação de resíduos recicláveis pós –consumo, tem –se basicamente duas formas distintas, quais sejam: A coleta seletiva, que é a separação ou a “não mistura” dos materiais na fonte geradora, e a triagem de materiais feita pelos catadores após serem descartados pela fonte geradora, sem seleção previa e misturados a resíduos orgânicos. A coleta seletiva pode ser feita com a separação dos materiais em grupos (papel, plástico, orgânicos, etc.) ou feita pela separação de resíduos secos dos resíduos orgânicos. A literatura técnica sobre reciclagem indica a coleta seletiva na fonte como prioridade para aumentar a

taxa de reciclagem de RSU. Isto ocorre porque resíduos secos, quando não misturados com a matéria orgânica na fonte, têm a sua taxa de reciclabilidade maior do que os resíduos secos contaminados com matéria orgânica na fonte geradora.

A coleta seletiva porta-a porta exige equipamentos de transporte e logística diferenciados da coleta convencional. Esta exigência faz com os seus custos superem os custos da coleta convencional. O seu custo pode ser 10 vezes maior do que o custo da coleta convencional. Este tipo de coleta é considerada uma alternativa economicamente inviável em muitos casos. Quanto à triagem dos RSU após o descarte, feita pelos catadores, é útil na recuperação de muitos materiais recicláveis. No entanto, o seu rendimento é certamente inferior ao da coleta seletiva. Dados do SNIS para cidades do porte da cidade de Salvador, apenas 8,5% da coleta seletiva é feita por catadores com o apoio da prefeitura, sendo a maior parte coletada por empresas terceirizadas pelos governos municipais (55,5%) e outros 36% dos resíduos selecionados na fonte geradora são coletados pela prefeitura. Na Região Nordeste, apenas 11% da massa de resíduos secos recuperados é feito de forma seletiva. Este índice chega a 27% na Região Sul.

Como o poder publico não pode arcar com os custos da coleta seletiva, a PNRS incentiva a busca de arranjos que promovam a inclusão de catadores no sistema de logística de coleta seletiva. Os catadores podem chegar a um nível de organização que os permita atuar como um canal de coleta de RSU porta -a- porta. A receita para os catadores através da venda de recicláveis, podendo inclusive chegar a algum grau de industrialização dos materiais, o que também agrega valor ao material.

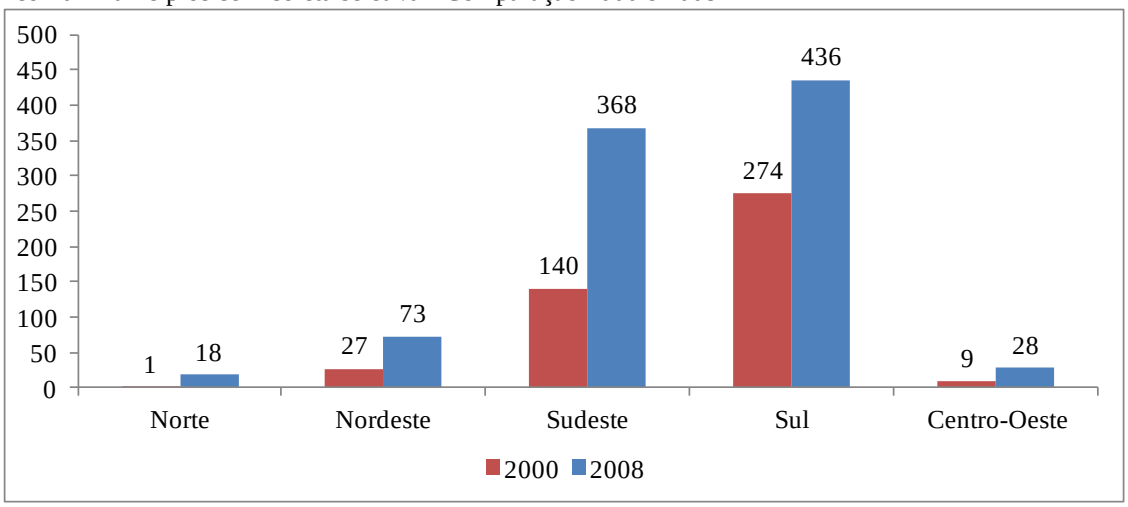
A possibilidade de aplicação de arranjos alternativos que transfiram a responsabilidade ou o direito de propriedade de atuação, na limpeza pública, aos catadores e pessoas físicas de baixa renda, encontra exemplos práticos. A lei 11.445 /07 prevê:

> [...] na contratação da coleta, processamento e comercialização de resíduos sólidos urbanos recicláveis ou reutilizáveis, em áreas com sistema de coleta seletiva de lixo, efetuados por associações ou cooperativas formadas exclusivamente por pessoas físicas de baixa renda reconhecidas pelo poder público como catadores de materiais recicláveis. Estes profissionais precisam usar equipamentos compatíveis com as normas técnicas, ambientais e de saúde pública. (BRASIL, 2007 – c. Cap. X, Art. 57)

O objetivo deste ponto da lei é transferir para os catadores que terão benefícios líquidos com a exploração das vantagens econômicas que podem advir da coleta seletiva. Conseqüentemente, auxilia na otimização do aproveitamento dos materiais recicláveis que diariamente chegam aos aterros, por não terem sido selecionados na sua origem. No Brasil, do total de 5.562 municípios com manejo de resíduos sólidos em 2008, apenas 923, ou 16,5% dos municípios, possuíam algum programa de coleta seletiva. Este número representa mais do que o dobro do registrado em 2000, quando apenas 451 municípios ou 8% dos municípios tinham coleta seletiva. Desta forma, a legislação sanitária no Brasil busca sanar problemas ambientais relacionados à coleta e disposição de lixo, de forma economicamente e socialmente viável.

A coleta seletiva cresce em todas as regiões brasileiras, em termos de números de municípios. É possível observar no Gráfico 10 o crescimento da coleta seletiva nas Grandes Regiões. A Região Norte apresentou maior crescimento, cerca de 1700%, saindo de 1 para 18 municípios e, em segundo lugar, a Região Centro Oeste, com crescimento de 211%, passando de 9 para 28 municípios com coleta seletiva. A Região Nordeste teve crescimento de 170% no numero de municípios com coleta seletiva, saindo de 27 para 73. O menor aumento foi verificado na região Sul, com acréscimo de 59% no numero de municípios com coleta seletiva. A Região Sul já possuía um numero elevado de municípios participantes da coleta seletiva e é pioneira em coleta seletiva e reciclagem no Brasil.

Gráfico 10- Municípios com coleta seletiva - Comparação 2000 e 2008



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de PNSB (2000 e 2008).

No estado da Bahia, apenas 25 dos 417 municípios tem programas de coleta seletiva, o que representa 6% dos municípios. A capital, Salvador, é um dos municípios. Apesar de baixo,

este numero representa um incremento de mais de 100% em relação a 2000, quando o numero de municípios com coleta seletiva no estado não passava de 12. O trabalho dos catadores de materiais recicláveis de triagem de RSU pós – consumo é computado explicitamente pelo Ministério das Cidades desde 2007. O montante recuperado pelos catadores de Salvador varia entre 0,3% e 0,5% do total de RSU gerado por ano. Este é um percentual pouco expressivo do ponto de vista do potencial de recicláveis, verificado nos RSU do município, que supera os 40%, segundo dados de Salvador (2012 - b).

O Plano Municipal de Saneamento Básico de Salvador[22], elaborado pela Prefeitura Municipal de Salvador, divulgado em 2012, indica que apenas 1% dos RSUs é coletado seletivamente pelas cooperativas cadastradas na prefeitura de Salvador. Este valor não contabiliza os materiais coletados pelos chamados "catadores predatórios". Estes últimos exploram os resíduos dispostos não seletivamente nos logradouros urbanos e espalham resíduos pelas ruas, causando proliferação de vetores patogênicos. O Diagnostico de Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), realizado por Brasil (2011), informa que, do total coletado anualmente, em Salvador, 2.600 toneladas (0,3%) são coletadas por cooperativas de catadores apoiadas pela prefeitura. Segundo Salvador (2012 - b), o potencial de reciclagem dos resíduos secos (RSD) de Salvador é de 46,11% dos RSU, o que representaria 380 mil toneladas ano.

Cabe ressaltar que toda a coleta seletiva do município de Salvador, segundo Brasil (2011) foi realizada por catadores de materiais recicláveis com apoio da prefeitura municipal. Isto faz com que exista algum grau de discrepância entre os dados divulgados pela Prefeitura Municipal de Salvador e pelo Ministério das Cidades. No entanto, esta discrepância não compromete a credibilidade das informações de ambas as fontes citadas.

3.6 RECICLAGEM ENERGÉTICA E RECICLAGEM MECÂNICA DE ACORDO COM A PNRS

[22] A comissão executiva responsável pela elaboração deste documento é composta pelos representantes dos seguintes órgãos: Secretaria Municipal de Transportes e Infraestrutura; da Secretaria de Desenvolvimento Urbano, Habitação e Meio Ambiente, da Secretaria Municipal de Saúde, Empresa de Limpeza Urbana do Salvador, Empresa Baiana de Água e Saneamento S.A http://www.infraestrutura.salvador.ba.gov.br/consultapublica/arquivos/PMSB_Res%C3%ADduosS%C3%B3lidos_Final.pdf

A necessidade de racionalizar e normatizar a gestão dos Resíduos Sólidos com base na eficiência econômica, eficácia ambiental e inclusão social têm sido discutidas há mais de uma década. Em função disto, houve o avanço nos marcos regulatório e institucional desta problemática O principal destes é a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, através da Lei 12.305 / 2010. Desse modo, é necessário destacar os princípios, objetivos e instrumentos da PNRS, considerados de maior importância para a contextualização da proposta de analise desta dissertação, centrada na discussão da rota tecnológica de reciclagem mais apropriada para os RSU, dada a PNRS. Os princípios da PNRS são descritos no Art. 6º da Lei 12, 305/2010 e os destaques são apresentados no Anexo A1.

A delimitação da classe de resíduos que será objeto de analise nesta dissertação, os RSUs, teve como critério o avanço no entendimento para questões advindas da recente aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Esta política foi aprovada após 10 anos de tramitação no poder legislativo. O tratamento e destinação final dos RSUs têm sido objetos de discussão, devido ao momento de inflexão da política de saneamento básico, que deve determinar a melhor rota tecnológica para a gestão de RSU nos próximos 20 a 30 anos.

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) podem ser reciclados através de dois processos distintos: a reciclagem mecânica, que produz matérias-primas secundárias para a produção de novos produtos e a reciclagem energética para geração de energia elétrica através da incineração controlada. Tanto a incineração com reciclagem energética quanto a digestão aeróbica e a anaeróbica de resíduos orgânicos “molhados” são considerados, atualmente, alternativas de complementação do sistema de geração de energia elétrica nacional. Este tipo de reciclagem é, inclusive, incentivado pela Agencia Nacional de Energia Elétrica (AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2010).

Na hierarquia das ações mitigadoras dos impactos ambientais negativos provocados pela geração de RSUs, e de acordo com os princípios da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a reciclagem mecânica deve ser priorizada em relação à reciclagem energética. A reciclagem energética pela incineração pode ter um papel importante, tanto no aumento da vida útil dos aterros sanitários e na redução da demanda sobre outras fontes de energia elétrica. Como parte de uma política ambiental mais abrangente, que preze pela utilização conservadora de recursos naturais, o processamento energético dos RSUs carece de uma analise mais detalhada, quanto às suas potencialidades e limitações. Isto porque, se feita de

forma não cautelosa, a recuperação energética pela incineração de grande parte de RSU concorre diretamente com a sua reciclagem mecânica, que consiste na reintrodução dos resíduos como insumo físico na cadeia produtiva, em substituição de insumos virgens.

A rota de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (GIRS) proposta nos princípios da PNRS é inequívoca ao apontar a ordem de prioridades a ser seguida (BRASIL, 2010-a, cap. II, art. 7º): i - Não geração de resíduos; ii - Redução; iii – Reutilização; iv- Reciclagem [mecânica]; v- Incineração (com aproveitamento energético) e; vi - Destinação final dos rejeitos inertes (aterro sanitário). Assim, uma vez triados os RSU recicláveis, preferencialmente na origem com a coleta seletiva, os "resíduos últimos" [23]devem ser encaminhados para a incineração, como parte do tratamento final de resíduos, de modo a reduzir ao máximo o peso e volume dos rejeitos dispostos em aterros.

Para reforçar tais prioridades, o poder publico municipal tem realizado mudanças significativas nos novos contratos de terceirização da coleta, manejo e disposição final de Resíduos Sólidos pelo Serviço de Limpeza Urbana. As empresas terceirizadas passam agora a receber por serviço prestado, e não mais pela quantidade de RSU coletada. A receita da 'terceirizada', ao contrario do que ocorria nos modelos de contrato anteriores, não mais variará com a quantidade de RSU coletada ou aterrada. A intenção explicita nesta mudança é fazer com que as terceirizadas não tenham interesse em aumentar a quantidade coletada e aterrada. Desse modo, espera-se que as empresas terceirizadas sejam aliadas em prol do aumento da taxa de reciclagem de RSU (SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010).

Em 2004, a cidade de São Paulo firmou o primeiro contrato de concessão do Sistema de Limpeza Urbana (SLU) que não é pago por tonelada de resíduos coletado e tratado. As duas empresas concessionárias recebem uma tarifa fixa mensal o que, conseqüentemente, faz com que não seja interessante ter maior quantidade de lixo produzida. A tonelagem de resíduos produzidos e as coletas são medidas somente para controle estatístico. Tal concessão tem validade por 20 anos e pode ser renovável por mais 20. (SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO, 2010). Seguindo esta tendência,

[23] Definição: "[...] resíduo último é aquele que não é mais passível de tratamento, nas condições técnicas e econômicas do momento, principalmente para a extração da parte revalorizável do mesmo, ou até para reduzir o seu caráter poluente ou perigoso". (MENEZES; GERLACH; MENEZES, 2000).

Salvador, moldou o Termo de Referência que deverá nortear o novo contrato de limpeza urbana do município, estabelecendo também a taxa única que não varia com o peso coletado[24].

Entretanto, outras formas de incentivar indiretamente o aumento do peso coletado pelas empresas terceirizadas podem ser observadas, como a possibilidade de reciclagem energética em incineradores, a geração de biogás no aterro e até mesmo o mecanismo de credito de carbono associado ao sistema de destinação final podem influenciar a lógica econômica do processo.

Os agentes beneficiados pelos instrumentos econômicos da Política Estadual de Resíduos Sólidos no estado da Bahia são as empresas dedicadas à limpeza urbana e ao manejo de resíduos sólidos e empresas com atividades relacionadas[25]. Estendem-se os benefícios "às empresas e entidades dedicadas à triagem, à reutilização, à reciclagem, às distintas formas de tratamento, bem como ao aproveitamento e à recuperação energética de resíduos sólidos produzidos no território estadual". Esta especificação indica que pode ser concedido incentivo econômico à instalação de plantas incineradoras de RSU voltadas para a geração de energia elétrica no estado da Bahia. Os estudos de Minas Gerais (2012) e de Climate Works (2012) apresentam parâmetros de analises para gestores públicos municipais escolham as mais adequadas rotas tecnológicas para a gestão de resíduos sólidos para cada município brasileiro.

Diante do presente contexto, cabe retomar o problema de pesquisa apresentado na introdução: Qual é a melhor rota tecnológica a ser adotada no âmbito da PNRS para a recuperação ecologicamente eficiente dos Resíduos Sólidos Urbanos, no município de Salvador?

Para dar resposta a este problema, será feito um estudo de caso com os RSUs gerados no município de Salvador, com o objetivo de simular a mudança na estrutura de insumos decorrentes da reciclagem de resíduos sólidos urbanos na cidade de Salvador, por meio das rotas tecnológicas de reciclagem mecânica e reciclagem energética. Para atingir o objetivo proposto, será necessário mensurar os resíduos potencialmente recicláveis e a sua valoração de mercado, em cada uma das rotas tecnológicas. Desse modo, poderão ser comparadas

[24] Segundo informações obtidas junto à Assessoria Técnica (Rita Costa) da LIMPURB, em 08/05/2013, o atual contrato de coleta, manejo e disposição final de RSU firmado entre a LIMPURB e as empresas terceirizadas tem vigência até julho de 2013. Segundo esta fonte, o modelo definitivo do novo contrato ainda não está disponível para consulta publica.

[25] Projeto de Lei estadual nº 20.350

ambas as rotas através da analise de relações intersetoriais e Insumo-Produto. Será analisada a reciclagem energética e como a energia elétrica gerada entra como insumo principal no setor de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana.

A literatura não apresenta uma aplicação direta da analise de Insumo-Produto referente à estimação dos impactos econômicos oriundos da reciclagem energética especificamente, cujo produto seja energia elétrica. Neste caso, será utilizada a mesma lógica de custo de produção evitado pela reciclagem, isto é, os setores que ofertam e demandam energia gerada por fontes tradicionais são impactados pelo aumento da geração de energia de fonte termoelétrica movida a RSU.

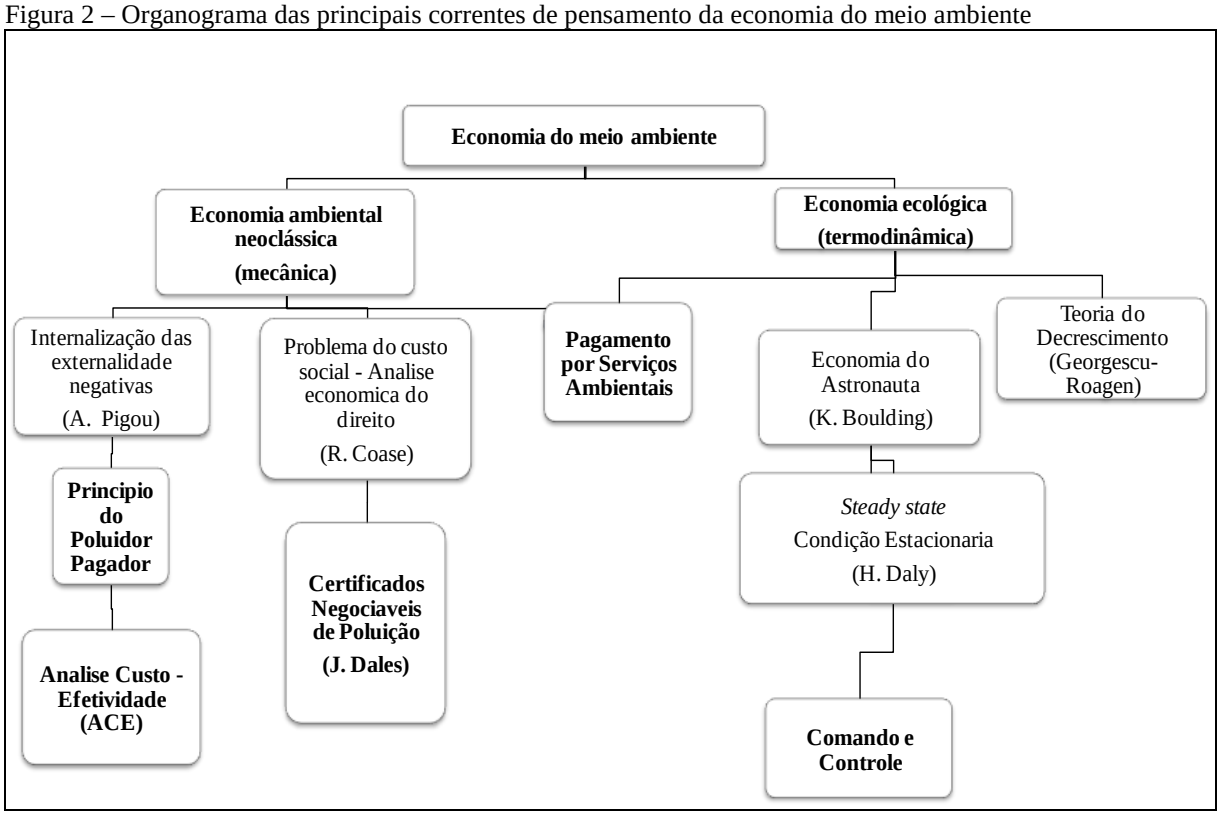
4 ECONOMIA AMBIENTAL E RECICLAGEM

A discussão sobre a eficiência ambiental e econômica das rotas tecnológicas alternativas de reciclagem encontra embasamento nas teorias que relacionam os sistemas econômicos e o meio ambiente. Neste capitulo será feita uma exposição das principais teorias da economia meio ambiente, sintetizadas em duas principais correntes teóricas: a economia ambiental neoclássica e o seu contraponto, a economia ecológica. Em seguida, será explicitada a relação entre as teorias da economia do meio ambiente e os princípios teóricos que norteiam a PNRS: o principio do "poluidor pagador", do "protetor recebedor" e o principio da "Ecoeficiência". Estes princípios que embasam a formulação dos instrumentos econômicos usados na mitigação de externalidades negativas geradas nos processos de consumo e produção. Ao final do capitulo, será feita uma descrição do estado da arte sobre as tecnologias associadas a cada rota de reciclagem e a revisão de trabalhos empíricos de Analise de Insumo-Produto aplicada à economia da reciclagem.

4.1 ECONOMIA AMBIENTAL: EVOLUÇÃO DAS CORRENTES TEÓRICAS

A preocupação com o meio ambiente é um tema relevante para o campo de estudo da economia desde que os impactos ambientais da Revolução Industrial e o movimento demográfico de urbanização passaram a serem sentidos, no inicio do século XX. Os economistas clássicos do século XIX, já possuíam uma embrionária noção de limite ambiental físico ao crescimento econômico, que originou o termo *"stationary state"* (CECHIN, VEIGA, 2010). Pouco tempo depois, surge o primeiro expoente da economia ambiental neoclássica convencional, Arthur Cecil Pigou. As teorias pigouvianas de recorte microeconômico neoclássico predominaram na analise econômica do meio ambiente até 1966, ano em que ecoaram duas publicações fundamentais para o novo debate ambiental que surgia: A economia ecológica do inglês Kenneth Boulding e do romeno Nicholas Georgescu –Roegen. Na Figura 2 a seguir, tem-se organograma das principais correntes de pensamento da economia do meio ambiente (MAY, 2010; MOREIRA, 2007; MUELLER, 2010).

Figura 2 – Organograma das principais correntes de pensamento da economia do meio ambiente



Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de May (2010), Moreira (2007) e Mueller (2010).

A principal diferença entre a economia ambiental neoclássica convencional e a economia ecológica se dá na forma como o sistema econômico é associado à natureza. São duas concepções de mundo que se revelam totalmente diferentes. O modelo da economia ambiental neoclássica coloca o sistema ecológico – ambiental em função do sistema econômico, ou seja, o meio ambiente e a biosfera são partes do sistema econômico. Como conseqüência, do ponto de vista macroeconômico neoclássico, as atividades relacionadas aos recursos naturais são vistas como setores da macroeconomia (florestal, pesqueiro, mineral, etc.) (CECHIN; VEIGA, 2010; CECHIN, 2008). Do ponto de vista microeconômico neoclássico, o capital não produzido é o capital natural, e pode ser facilmente substituível por capital produzido e vice-versa, pois, o que importa é a quantidade de capital necessária ao crescimento econômico, e não a qualidade do capital.

A economia ecológica, (ecoeco) inverte a estrutura conceitual da economia ambiental neoclássica, ao afirmar que o sistema econômico é parte do sistema ecológico – ambiental, e não o contrario. Assim, a economia é “parte de um todo bem mais amplo”, conforme Cechin e

Veiga (2010, p. 34). A economia, para a corrente ecoeco, é um sistema aberto[26], que faz parte de um sistema maior, fechado para a entrada de materiais, aberto para a saída de energia inútil, portanto, materialmente finito e que não comporta a possibilidade de expansão em termos absolutos. Este sistema fechado é o Ecossistema do planeta Terra. A única energia que entra no sistema fechado do planeta terra é a energia solar. No entanto, o seu aproveitamento econômico é precedido de uma degradação energética ainda maior, gerando um saldo negativo de energia[27]. Este posicionamento teórico e empírico das duas principais correntes de pensamento da economia do meio ambiente traz importantes conseqüências no delineamento de políticas publicas que visem mitigar as ações antrópicas sobre a biosfera e o ecossistema.

Ambas as correntes teóricas fazem analogias e metáforas com a física. A diferença é que a economia neoclássica se identifica com a física mecânica clássica, enquanto a economia ecológica adota os princípios das leis da termodinâmica. Na física mecânica, segundo Cechin e Veiga (2010), os fenômenos podem ser compreendidos de forma atemporal, independente de onde e porque ocorrem. Para as leis da termodinâmica, o tempo é um pressuposto crucial. A termodinâmica é a única das teorias físicas que utiliza o conceito de flecha do tempo, distinguindo o passado do futuro e com isto, a irreversibilidade do tempo e, conseqüentemente, das ações.

A seguir, serão apresentadas as principais considerações a respeito das duas principais correntes teóricas da economia do meio ambiente, a economia ambiental neoclássica e a economia ecológica, destacando suas principais contribuições, especialmente no que se refere aos instrumentos econômicos utilizados para promover a redução de danos ambientais.

4.2 CORRENTE NEOCLÁSSICA DE ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE: A ECONOMIA AMBIENTAL

A primeira abordagem econômica formal sobre a poluição é creditada a Arthur Cecil Pigou, no começo do século XX. Segundo a teoria pigouviana, a poluição é uma externalidade negativa derivada do processo de produção de bens e serviços realizada por um dado agente.

[26] Sistema aberto pode trocar matéria e energia com o exterior. Sistemas fechados podem trocar apenas energia, mas não matéria com o exterior. (CECHIN, 2008)

[27] O processo de fabricação de placas fotovoltaicas para aproveitamento da energia solar é extremamente poluente. (HAYAMI; NAKAMURA, 2007).

Esta externalidade é um custo social, pelo qual outros agentes tem que pagar. O exemplo tradicional usado é o da fumaça que sai da chaminé de uma fábrica e acaba gerando custos adicionais de limpeza (externalidades negativas) a outros empreendimentos e até ao sistema de saúde publico (CÁNEPA, 2012).

A política ambiental do estado "pigouviano" é baseada na imposição do tributo ao agente poluidor, que cobriria os custos sociais gerados. Em um mercado de concorrência perfeita, onde todos os agentes estão ajustados no equilíbrio, o preço é igual ao custo marginal privado. Na presença de externalidades negativas, é suposto um desajuste no mercado, devido ao custo marginal social, que junto com o custo marginal privado, formam o custo marginal total.

O preço do produto deve ser ajustado para se igualar ao custo marginal total. Para tanto, o governo impõe um tributo sobre a poluição. A base de calculo deste tributo é a diferença entre o custo marginal privado e o custo marginal social, e incidindo sobre cada unidade produzida. Desta forma, o estado induziria o produtor a internalizar na sua estrutura de custos a externalidade negativa derivada da poluição, de acordo com o Principio do Poluidor Pagador (PPP). A conseqüência esperada da aplicação do modelo é a redução da quantidade produzida, mediante a obtenção de preços "realistas" pelo produto (que será igual ao custo marginal total), com menor pressão sobre os recursos naturais e o meio ambiente. Isto garantiria que todos os custos que a sociedade realmente tivesse com a produção fossem cobertos pelo agente poluidor, recuperando o "Ótimo de Paretto" dos mercados.
O modelo pigouviano de internalização das externalidades negativas não teve aplicação pratica generalizada. A autoridade ambiental dificilmente teria o necessário conhecimento da relação entre a quantidade de cada poluente emitido pelo setor e o valor do custo social da externalidade sobre os outros setores atingidos pelas emissões. Entretanto, Pigou é considerado precursor da introdução de problemas ambientais na Teoria Econômica convencional neoclássica. A noção de custos sociais ou externalidades negativas das emissões passaram a nortear os principais instrumentos econômicos utilizados pelas políticas ambientais contemporâneas. (CÁNEPA, 2012; MULLER, 2004). O modelo Pigouviano deixou como legado uma teoria conhecida como Principio do Poluidor- Pagador, que consiste em instrumentos econômicos utilizados para induzir os agentes poluidores a reduzir os níveis de poluição das suas atividades econômicas.

Como critica ao modelo pigouviano de internalização das externalidades negativas por meio

de tributos impostos ao poluidor, surge uma interpretação alternativa para o problema dos custos sociais. Para Ronald Coase, em seu artigo seminal *"The problem of the Social Costs*" de 1960, o poluidor nem sempre deve ser o único a pagar pelos custos sociais causados pela poluição derivada da produção de bens e serviços. A responsabilização legal e econômica pelos danos deve observar a natureza recíproca do problema do custo social. De acordo com Coase (1960):

> A abordagem tradicional tende a obscurecer a natureza da escolha que deve ser feita. A questão é normalmente pensada como uma situação em que **A** inflige um prejuízo a **B**, e na qual o que tem que ser decidido é: como devemos coibir **A**? Mas isso está errado. Estamos lidando com um problema de natureza recíproca. Evitar o prejuízo a **B** implicaria causar um prejuízo a **A**. Assim, a verdadeira questão a ser decidida é: **A** deveria ser autorizado a causar prejuízo a **B**, ou deveria **B** ser autorizado a causar um prejuízo a **A**? O problema é evitar o prejuízo mais grave. (COASE, 1960, p. 2 - grifo do autor).

A concepção coaseana de política ambiental pressupõe que exista espaço para um acerto econômico mutuamente satisfatório, que considere o beneficio total liquido da sociedade. Se o agente poluidor causa um dano ao agente afetado, o agente afetado também causa um prejuízo ao agente poluidor, pelo simples fato de ambos existirem. Como agentes que atuam em mercados perfeitamente competitivos, a responsabilização pelos danos causados deve buscar a ampliação do beneficio liquido total, através dos mecanismos do livre mercado. O papel do estado se limitaria, neste caso, à atribuição correta dos direitos de propriedade, quando possível, e estimular o mercado a negociar o melhor arranjo do ponto de vista da sociedade com o um todo.

4.3 A CORRENTE ECOLÓGICA DA ECONOMIA DO MEIO AMBIENTE

Em 1966, surgem os primeiros esboços da corrente ceticista da economia do meio ambiente, que mais tarde seria denominada Economia Ecológica (ecoeco). O marco teórico se dá no artigo seminal de Keneth Boulding denominado "*The economics of the coming spaceship Earth*". Neste artigo, o autor associa a economia e ecologia e explica a passagem da "economia do *cowboy*" para a "economia do astronauta", ou "economia da espaçonave".

A denominação "economia do *cowboy*" é uma alusão ao comportamento de exploração de novos recursos para expansão das fronteiras que limitam o domínio antrópico sobre a

natureza. Trata-se de características da fase do mundo "vazio", onde a economia de "grandes planícies", baixa densidade populacional, baixa produção per capita e tecnologias geradoras de resíduos biodegradáveis (CÁNEPA, 2010) era compatível com a capacidade de suporte e assimilação do meio ambiente, em outras palavras com a capacidade de "resiliência" do ecossistema. Neste contexto, a natureza seria um bem livre ou bem publico, e como tal, seria um bem não excludente, não rival e não congestionável (VEIGA NETO, MAY; 2010).

A economia moderna do "mundo cheio", ao contrario, se caracteriza por alta densidade populacional, alta produção per capita, intensiva utilização de recursos naturais, tanto renováveis quanto não renováveis, além da alta geração de resíduos não biodegradáveis. Tais características do "mundo cheio" anulam os atributos de bem livre relacionados à natureza, sendo preciso, portanto, "economizá-la". Como solução, a minimização do consumo e do insumo físico deve ser priorizada. Esta mudança de postura exige uma mudança no conceito de "sucesso econômico", prevalecendo à minimização do uso de recursos naturais através de inovações tecnológicas.

Em 1966, o artigo "*Analytical economics*" [28] de Nicholas Georgescu – Roagen complementa a analise de Boulding, com a introdução na analise das leis físicas da termodinâmica, para explicar porque a natureza deve ser considerada o limite intransponível ao crescimento humano. Georgescu- Roegen postula, pelas leis da termodinâmica, que não há como obter produtividade total dos recursos, pois a quantidade de energia e matéria incorporada nos bens finais é sempre menor do que a energia contida nos recursos utilizados na sua produção. Avanços tecnológicos podem avançar no sentido de reduzir tais perdas, mantendo a entropia incorporada nos bens finais em níveis mais baixos. Desse modo, seria possível produzir mais bens a partir da mesma quantidade de recursos energéticos.

Herman Daly (1973) [29], com base em Georgescu – Roagen (1966) lançou uma argumentação menos pessimista em relação ao desenvolvimento material da economia. Para Daly, poderia existir a Condição Estacionária (CE), entendida como um "estado em que a quantidade de recursos da natureza utilizada seria suficiente apenas para manter constantes o capital e a população" (CECHIN; VEIGA, 2010, p. 43). Com este novo enfoque da economia ecológica,

[28] Em 1971, o autor escreve "The Entropy law and the economic process" no qual aprofunda a aplicação das teorias das ciências físicas à economia.
[29] Herman Daly foi aluno e discípulo de Georgescu – Roagen.

Daly. Dessa forma, Boulding e Daly são considerados a ala mais moderada dos economistas ecológicos. Estes autores mostraram a possibilidade de manutenção de certa taxa de crescimento material econômico, desde que respeitando a capacidade de resiliência da economia.

Georgescu – Roegen (1976) reafirma a sua visão pessimista sobre o crescimento e discorre sobre a entropia dos resíduos do processo econômico. O problema da geração e disposição de resíduos seria uma questão mais urgente do que o da exaustão dos recursos naturais. Um processo chamado de "poluição térmica" se antecipará à finitude dos "recursos acessíveis" (GEORGESCU-ROAGEN, 1976, p. 14), pois a lei da Entropia vaticina a impossibilidade de resfriamento do planeta aquecido devido ao aumento da entropia que ocorre em função das atividades de produção e consumo. Neste processo, ocorre a transformação irreversível de energia útil, de baixa entropia, em energia inútil caracterizada por alta entropia. Capital e trabalho dependem de energia de baixa entropia para serem produzidos e mantidos. Os resíduos de alta entropia seriam o resultado final do processo econômico.

A escala é uma questão central para a economia ecológica. Uma das principais contribuições da ecoeco para a consolidação dos mercados ambientais é o conceito de capital natural critico. Este conceito supõe um limite para o crescimento da depleção dos recursos naturais, e, portanto ao crescimento econômico convencional. Em ordem de importância, a segunda questão de que trata a economia ecológica é a equidade distributiva entre diversos atores, e considerando também as futuras gerações. Quando se tratam de recursos renováveis e a geração de resíduos, a questão da escala é a base para entender a capacidade de resiliência da natureza, que é a capacidade de regeneração da natureza em relação às modificações antrópicas.

A despeito da enorme contribuição dada pela a economia ecológica ao realismo no debate da economia do meio ambiente, esta corrente não avançou na construção dos modelos de instrumentos econômicos de políticas ambientais. As políticas publicas derivadas da corrente econômica ecológica se dão ainda na base do instrumento de Comando e Controle, considerados ultrapassados pelos estudiosos de políticas publicas ambientais (PEREIRA, LIMA e REYDON; 2007), (CÁNEPA; 2010). Neste sentido, a economia ambiental neoclássica é considerada mais avançada, ao instituir modelos de projeção de comportamentos dos agentes diante da aplicação de instrumentos econômicos que busquem a

mitigação de impactos ambientais das ações humanas.

4.4 A ABORDAGEM DA ANÁLISE CUSTO – EFETIVIDADE (ACE)

A Analise Custo – efetividade (ACE) e a Análise Custo – Beneficio (ACB) são métodos de avaliação das metas e objetivos almejados mediante a aplicação dos instrumentos econômicos. Estes métodos podem ser utilizados em qualquer área temática, inclusive a ambiental (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2003; CELINE; KEE, 2010). O ACE compara os custos com os seus resultados chaves esperados. O ACB vai mais adiante, pois compara o custo monetário ao beneficio monetário de um programa. A mensuração do valor monetário de um beneficio ambiental encontra muitas dificuldades, pois, nem sempre é possível definir um preço para o beneficio ambiental. Desse modo, o ACE é mais usado nas analises de políticas ambientais. Para a aplicação da ACE, é necessário partir de pressupostos definidos por Baumol e Oates (1971) dentre os quais, pode se destacar:

a) Propriedade estatal dos bens ambientais: Estado assumiria a propriedade dos bens ambientais, que não podem ser de propriedade privada (ex: ar e águas).

b) Modelos de Dispersão: A sociedade fixaria objetivos e metas de qualidades para os corpos receptores, determinando a quantidade em que os diversos poluentes devem ser abatidos.

c) Outorga dos bens ambientais: O Estado deveria exercer a outorga do uso dos bens ambientais, racionando e racionalizando a sua utilização.

d) Instrumentos econômicos de indução: Em complemento à outorga, o estado deveria adotar instrumentos econômicos de indução ao uso moderado de bens ambientais.

Com relação aos instrumentos econômicos, a teoria da economia ambiental neoclássica formulou dois tipos fundamentais: O Principio do Poluidor Pagador (PPP) e os Certificados Negociáveis de Poluição (CNPs). O PPP consiste em um conjunto de instrumentos econômicos que têm o objetivo de induzir o agente poluidor a reduzir a quantidade de poluição. Os Certificados Negociáveis de Poluição também são instrumentos econômicos de política ambiental que também busca induzir a redução da poluição. A diferença para o PPP, é

que com o CNP o ônus nem sempre é pago pelo agente poluidor diretamente. De acordo com Cánepa (2010) a escolha de um instrumento econômico, em detrimento de outro, depende do tipo de poluição que se deseja conter. O PPP vem tendo sucesso quando aplicado sobre a poluição das águas, enquanto o CNP é geralmente empregado no combate à poluição atmosférica.

A operacionalização da política ambiental custo-efetiva para abatimento de emissões se dá através dos instrumentos econômicos 'Principio do Poluidor Pagador' (PPP) e 'Certificados de Negociação de Poluição' (ou mais corretamente, Certificados de Negociação de Emissões). Estes são considerados dois dos instrumentos econômicos mais avançados do ponto de vista da economia ambiental neoclássica atual (CÁNEPAS, 2010).

4.5 A ECONOMIA AMBIENTAL NA POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é fundamentada em princípios identificados com a teoria da economia ambiental, dentre os quais se destacam aqui: Poluidor – Pagador, Protetor - Recebedor e Ecoeficiencia. Além destes, são princípios da PNRS a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor e a priorização, nas aquisições e contratações governamentais, para produtos reciclados e recicláveis de bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis. Estes são princípios que ajudam a compreender a orientação econômica e social da Política analisada.

A PNRS é o marco legal da gestão de Resíduos Sólidos no Brasil, desde 2010. Os princípios desta são os fundamentos teóricos da política. De acordo com a proposta de Plano Nacional de Resíduos Sólidos divulgada pelo Ministério do Meio Ambiente em fevereiro de 2012, Os instrumentos econômicos previstos no Plano são: i - Obtenção de créditos de carbono através de projetos Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) [30]. com captura de metano em aterros sanitários, suinocultura e gestão de resíduos; ii - Criação de depósito-retorno para óleos vegetais, e outros materiais recicláveis; iii - Projetos relacionados ao Programa de

[30] O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) é uma metodologia utilizada pelos países em desenvolvimento para atingir metas fixadas pelo protocolo de Quioto de redução de emissões poluentes. A redução das emissões geram créditos de carbono, que equivalem aos CNPs, em uma atividade produtiva ou de consumo. Mais sobre isto, favor consultar Frondizi (2009) e Souza e Miller (2003).

Coleta Seletiva Solidária, regulamentado pelo Decreto nº5.940.

Nas próximas seções serão apresentados os instrumentos econômicos previstos na PNRS. Estes são embasados tanto na teoria da economia do meio ambiente, associada à microeconomia neoclássica, quanto na teoria da economia ecológica. A economia do meio ambiente se relaciona aos princípios do Poluidor - Pagador, enquanto o principio da Ecoeficiencia é um legado da economia Ecológica. O principio do protetor - recebedor, como será visto adiante, recebe influencias hibridas das teorias da economia ambiental neoclássica e da economia ecológica.

4.5.1 O principio do poluidor pagador na Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O principio do poluidor pagador (PPP) é o instrumento econômico mais próximo do modelo de internalização das externalidades negativas proposto originalmente por Pigou. Através de modelagem de dispersão, que procura estabelecer o nível máximo de poluentes que os corpos receptores são capazes de suportar, dada a sua capacidade de regeneração (resiliência), é estabelecido o cronograma de execução para os agentes atingirem o nível ótimo de abatimento (CÁNEPA, 2010; MULLER, 2004). O processo de abatimento até o nível ótimo é chamado de ‘Enquadramento’, e a sua consecução deve ocorrer de forma gradual no tempo, pois as metas são consideradas, geralmente, muito ambiciosas.

O custo marginal de abatimento é especifico a cada tecnologia do setor. Cánepa (2010) ressalta o aspecto incitativo da cobrança pelas emissões. A idéia é reduzir a emissão através do mecanismo de indução de taxas crescentes, que variam diretamente com a quantidade emitida de poluentes.

A soma horizontal dos custos marginais de abatimento em todos os setores forma a curva de custo marginal de abatimento dos setores. Assim, os setores com menores custos de abatimento se situam na parte mais a esquerda da curva, enquanto os setores com custo marginais de abatimento maiores se situam na parte mais à direita da curva. Deste modo, a curva de custo marginal ordena de forma crescente o custo de abatimento dos variados setores emissores de poluentes.

O Gráfico 11 representa a relação entre quantidade de poluição emitida (eixo horizontal) e o

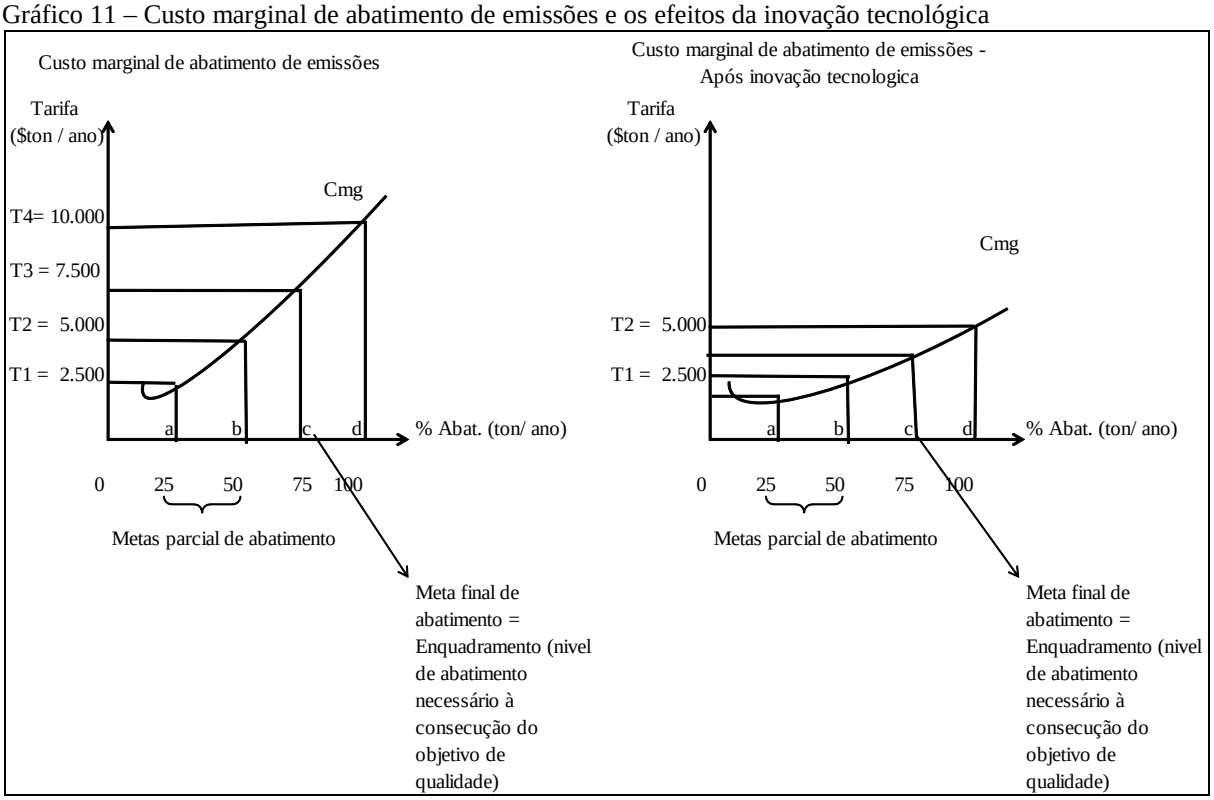
custo de redução destas emissões (eixo vertical). Com este modelo é possível entender a aplicação pratica do instrumento econômico. Por exemplo, o governo pode fixar uma multa por emissões no valor *T1* e fixar a meta de emissões em 75%. Com a multa fixada em *T1* ou $ 2.500 por tonelada, a empresa irá optar por investir em redução de um percentual "*oa*" de emissões que equivale a até 25% das emissões. O valor gasto para reduzir em ate 25% das emissões é inferior ou igual ao valor da multa ($ 2.500). Pelos outros 50% (entre o ponto '*a*' e o ponto '*c*' do gráfico), o custo de reduzir as emissões é maior do que a multa T1 a ser paga. O agente irá preferir pagar a multa ao invés de investir em tecnologias de redução de emissões. Depois de um tempo, o governo aumenta o valor da multa para T2, levando o agente a fazer novos investimentos para reduzir em até 50% das emissões.

O pagamento das taxas incidentes sobre as emissões "*ac*", gera uma receita "*ac x T1*" que pode ser utilizada para financiar os investimentos deste produtor em tecnologias que promovam as emissões. Deste modo, além do aspecto incitativo do instrumento PPP, Cánepa (2010) faz referencia ao potencial de financiamento dos abatimentos, através do fundo alimentado pelas multas. O mesmo raciocínio feito para um produtor vale para analisar o mercado, que é o somatório dos produtores individuais.

O problema ocorre à medida que se chega a níveis mais altos de abatimento. O caráter exponencial do custo marginal, na medida em que se aproxima de 100% de abatimento, limita a aplicação de instrumentos econômicos. Ou seja, segundo Cánepa (2010) para se preservar o caráter incitativo da tarifa, é necessário o seu aumento exponencial. Diante disto, surgem divergências entre as políticas ambientais e políticas anti-inflacionarias, além da resistência dentro das instituições envolvidas.

Uma maneira de atingir mais rapidamente as metas de abatimentos ao menor custo possível é o investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) que produza inovação tecnológica. A inovação tecnologia seria capaz de provocar a rotação para a esquerda da curva de custo marginal de abatimento, reduzindo a sua inclinação. Este movimento pode ser visualizado na figura à direita, no Gráfico 11. Como conseqüência, o custo marginal para se atingir cada nível de abatimento seria menor. Desse modo, faz-se com que, "uma vez fixada à tarifa (multa), mais setores dos que os previstos "fujam da tarifa, procedendo ao abatimento" (CÁNEPA, 2010, p. 87). Neste sentido, a reciclagem de resíduos é apontada pelo autor como uma inovação produtiva que reduz o custo marginal de abatimento.

Gráfico 11 – Custo marginal de abatimento de emissões e os efeitos da inovação tecnológica



Fonte: Adaptado de Cánepa (2010)

Uma maneira de atingir mais rapidamente as metas de abatimentos ao menor custo possível é o investimento em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) que produza inovação tecnológica. A inovação tecnologia seria capaz de provocar a rotação para a esquerda da curva de custo marginal de abatimento, reduzindo a sua inclinação. Este movimento pode ser visualizado na figura à direita, no Gráfico 11. Como conseqüência, o custo marginal para se atingir cada nível de abatimento seria menor. Desse modo, faz-se com que, "uma vez fixada à tarifa (multa), mais setores dos que os previstos "fujam da tarifa, procedendo ao abatimento" (CÁNEPA, 2010, p. 87). Neste sentido, a reciclagem de resíduos é apontada pelo autor como uma inovação produtiva que reduz o custo marginal de abatimento.

No caso da PNRS, são "poluidores" presumidos todos os integrantes da cadeia de produção e consumo de materiais recicláveis e embalagens em geral. O principio da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos [31] prevê que todos os agentes envolvidos têm o dever de fiscalizar e encaminhar os resíduos gerados nas diversas etapas de produção e

[31] "Art. 30. É instituída a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, a ser implementada de forma individualizada e encadeada, abrangendo os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, consoante as atribuições e procedimentos previstos nesta Seção."

consumo. Os fabricantes de embalagens, materiais para embalagens e produtos em geral, comerciantes, consumidores intermediários ou finais, titulares públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos e importadores, representam os atores que atuam nas diversas etapas do ciclo de vida do produto. Estes atores têm responsabilidade especifica sobre os resíduos gerados. A curva de No que diz respeito à responsabilidade do fabricante de produtos e embalagens, do comerciante e do importador, lhes é imputado o dever de garantir o retorno do resíduo à cadeia produtiva. Este processo é conhecido como logística reversa. É referente ao retorno dos resíduos gerados pós - consumo às plantas fabris, para reciclagem.

Na definição da PNRS, a logística reversa é um "instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada" (BRASIL, 2010. Cap. II, Art. 3º). Para tanto, os incentivos econômicos devem ser utilizados para induzir ações sustentáveis das empresas envolvidas nestas etapas do ciclo de vida.

Os agentes industriais e comerciais assumem o papel de poluidor pagador ao atuarem em atividades que geram resíduos pós-consumo. A indústria tem que financiar a logística reversa do material reciclável, em consonância com a ordem de prioridades da gestão integrada de resíduos sólidos[32]. O texto mais recente de proposta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos cita exemplos de como a logística reversa pode ser financiada por taxas do tipo PPP, como já ocorre em países da União Européia. Conhecidas como PAYT *(Pay – as –you – throw)*, as taxas de financiamento da logística reversa são imputadas de forma obrigatória às "empresas que vendem seus produtos no mercado" (BRASI, 2012, p. 46). Como o valor da taxa é calculado com base no volume e peso dos resíduos descartados, dado o custo marginal de coleta e destinação final. Esta taxa funciona como um mecanismo de incentivo à redução da quantidade de resíduos gerados. Desse modo, atendem aos objetivos dos instrumentos econômicos como o PPP, que o incentivo à redução "voluntária" dos resíduos.

[32] Segundo a PNRS, Art. 3º, a definição de gestão integrada de resíduos sólidos é: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável;

Pelo mecanismo PAYT, as empresas serão estimuladas a promover a redução dos resíduos, atingindo os objetivos da política ambiental, nas seguintes situações: A) Quando a taxa paga por quilo de resíduo gerado (custo marginal) excede o valor do investimento em inovação tecnológica que promova a redução do resíduo; b) O mesmo vale se a taxa por quilo de resíduo for maior do que a receita gerada pelo produto equivalente a um quilo de resíduo. O produtor irá reduzir a sua oferta até igualar o valor da receita marginal do produto com o custo marginal do resíduo, que é a taxa paga por quilo de resíduos.

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos faz a ressalva de que o objetivo da logística reversa feita na Europa é a redução da quantidade de resíduos levada ao aterro sanitário. Para tanto ela precisa ser acompanhada de um eficiente programa de coleta seletiva, de forma a encaminhar tais resíduos para o destino correto, que seria a reciclagem mecânica (BRASIL, 2012). Em analise análoga, a falta de uma coleta seletiva eficiente no Brasil aumentaria os custos marginais da reciclagem mecânica, introduzindo um viés econômico na escolha da rota tecnológica de reciclagem.

Com relação à aplicação do PPP aos consumidores domiciliares, o Plano comenta a fragilidade da atual forma de cobrança da taxa de lixo usualmente aplicada. A Taxa de Limpeza Urbana atual é vinculada à cobrança do IPTU[33]. Esta não varia conforme a quantidade de resíduos gerada por cada domicilio, o que dispersa a responsabilidade dos agentes em reduzir o volume de resíduos gerados na fonte, pois torna o custo marginal de geração nulo, componente básico da aplicação do PPP na política ambiental. Desta forma, os gestores têm grande dificuldade em formular a política de metas e tecnologias financeiramente viáveis.

4.5.2 Principio do Protetor - Recebedor

O modelo de Pagamentos por Serviços Ambientais (PSA) assimila contribuições de ambas as correntes teóricas da economia do meio ambiente (VEIGA NETO; MAY, 2010). A definição de Serviços Ambientais passa pela definição previa de Serviços Ecossistêmicos. Segundo Daily (1997a), Serviços Ecossistêmicos são aqueles prestados pelos ecossistemas naturais que garantem as condições para a presença da vida humana na Terra. De acordo com Veiga Neto

[33] Imposto Predial Territorial Urbano

e May (2010), o conceito de Serviços Ambientais relaciona as ações antrópicas à preservação destes Serviços Ecossistêmicos. A relação entre estes conceitos mostra a importância dos serviços ambientais em relação aos produtos gerados pelo ecossistema. Logo, o valor do serviço prestado por uma arvore viva no seu habitat natural, por exemplo, deve ser necessariamente maior do que o valor da arvore transformada em moveis ou papel.

Os Serviços Ambientais, por estas características, são enquadrados no Principio do Protetor-Recebedor (PPR). O PPR prevê uma remuneração destinada a quem protege o meio ambiente, devido à externalidades positivas que esta ação gera à sociedade, de difícil reconhecimento pelo mercado. Em raciocínio análogo, no PPP o custo social gerado pela externalidade negativa do dano ambiental deve ser imputado, pelo estado, ao produtor, como forma de reduzir a quantidade produzida de produtos e resíduos. No PPR o benefício social decorrente da preservação de bens e serviços ambientais deve ser recompensado financeiramente a quem a promove.

A partir do nível de intervenção governamental, é possível categorizar os mercados de serviços ambientais em três classificações: Na primeira, o grau de intervenção estatal é menor e ocorre quando o usuário do serviço percebe um custo de tratamento ou redução da renda decorrente da perda do serviço maior do que o PSA. Na segunda, o grau de intervenção estatal é intermediário e predomina o mecanismo de troca entre os agentes, diante de um padrão fixado pela autoridade reguladora. Nesta classificação encontra-se o mercado de créditos de poluição / emissão[34]. A terceira classificação diz respeita à intervenção plena do estado como agente pagador pelo serviço ambiental aos agentes que gerenciam os recursos naturais. O desconto no IPI dado às indústrias que utilizam materiais recicláveis, em todo ou em parte no produto, é um clássico instrumento econômico de incentivo creditício baseado no principio do poluidor pagador e protetor recebedor.

No Brasil, o subsidio de IPI é escalonado conforme o material reciclável utilizado pela indústria. Assim, plástico e vidro recebem a maior alíquota de subsidio (50%), enquanto metais não ferrosos recebem a menor alíquota de desconto, cerca de 10%. O Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços - ICMS Ecológico ou ICMS - E é outro instrumento econômico protetor recebedor que vem sendo desenvolvido nos estados brasileiros. Os

34 Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do Protocolo de Quioto

estados que praticam esta legislação recebem um percentual do ICMS recolhido para a preservação de recursos naturais. Dezessete dos 26 estados e distrito federal possuem ICMS ecológico. O estado da Bahia não é um deles, até o momento. O estado não possui ainda uma legislação sobre o ICM - E.

O conceito de Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos (PSAU) foi recentemente desenvolvido por Oliveira Filho (2010-b) para um estudo encomendado pelo Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis (CIISC) [35] ao Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). O autor usou o paradigma do PSA para tratar das modificações antrópicas no meio ambiente urbano. O meio ambiente urbano faz jus à intervenção das políticas ambientais, pois é onde as conseqüências da ação antrópicas sobre o meio ambiente são mais evidentes.

O movimento demográfico do êxodo rural que provocou a saturação das cidades e a conseqüente concentração espacial da geração de resíduos. Desse modo, a capacidade de resiliência dos corpos receptores de poluição deste ecossistema é bastante reduzida. Isto faz com o que o PSAU seja feito exclusivamente para os catadores organizados em cooperativas para incentivar a coleta de RSU.

Os objetivos principais do PSAU para catadores são: a) Melhora a qualidade ambiental urbana; b) Reduzir a pressão sobre os ecossistemas naturais provedores de matérias primas virgens substituindo-as por matéria prima reciclada; c) Reduzir as emissões de poluentes e uso de água e energia no processo de extração da matéria prima e no processamento desta matéria prima pela indústria de transformação.

Oliveira Filho (2010 – b) destaca ainda que o critério para a formulação do PSAU deve considerar os efeitos ambientais e os efeitos sociais da política. Os catadores são os únicos beneficiários possíveis do PSAU, uma vez que deles depende a logística reversa de grande parte do material reciclável hoje reaproveitado e por constituírem a categoria com menor remuneração entre os agentes que atuam na cadeia produtiva da reciclagem. A ação dos catadores possibilitaria custos competitivos ao processo de triagem de materiais.

---

[35] Comitê Interministerial para Inclusão Social e Econômica dos Catadores de Materiais Reutilizáveis e Recicláveis (CIISC) (Decreto nº 7.405/10). Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/catadores-de-materiais-reciclaveis/comite-interministerial-para-inclusao-dos-catadores>.

4.5.3 Ecoeficiência

O principio da Ecoeficiência (*eco-efficiency*), adotada pela PNRS, surgiu da Conferência Eco 92. A Ecoeficiência é um conjunto de recomendações técnicas que serviriam para nortear as empresas a adotarem os princípios da Agenda 21[36] (GOMES, 2009). Trata-se de um conceito que descreve o processo empresarial de reflexão, discussão e promoção da integração entre desempenho econômico e ecológico. Segundo a literatura, a Ecoeficiência faz parte do conjunto de estratégias de gerenciamento ambiental das empresas, proporcionando uma vantagem competitiva para quem a adota.

A PNRS define a Ecoeficiência, não só como um principio a ser seguido por empresas, mas por todo o modelo de gestão de resíduos. Segundo a PNRS, este principio exige a compatibilização entre critérios econômicos e ambientais nas atividades produtivas. Esta compatibilização exigiria a adequação entre os preços dos produtos e a sua utilidade social e econômica, gerando o menor impacto ambiental e o menor consumo de recursos naturais, respeitando a capacidade de resiliência do planeta.

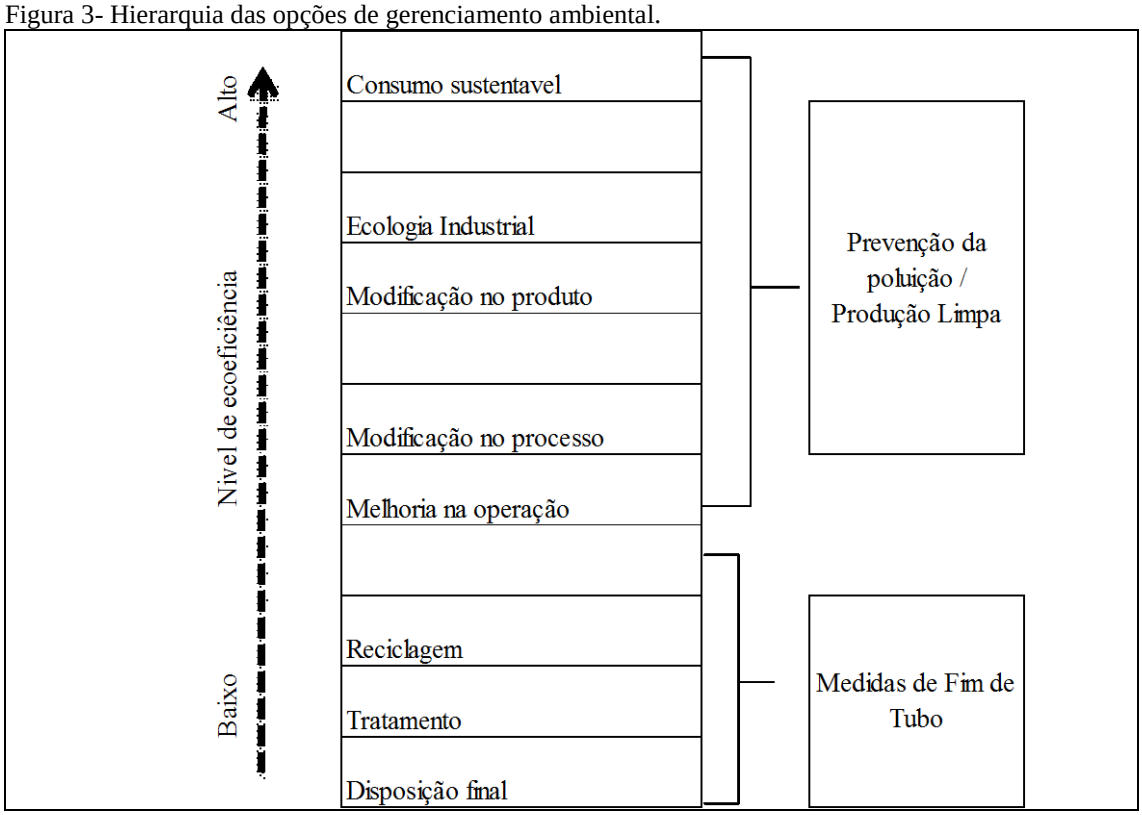
Morris (1996) define o conceito de conservação energética para comparar o balanço energético resultantes destas duas formas de reciclagem. Segundo Morris, a forma mais eficiente do ponto de vista energético é aquela que conserva a maior quantidade de energia liquida no processo de reciclagem. No presente estudo, o conceito de eficiência da conservação material e energética adaptado de Morris (1996) será utilizado como parâmetro de analise para verificar a melhor rota tecnológica de reciclagem. O conceito de Ecoeficiencia aqui se enquadra como a busca por eficiência da conservação material e energética de forma economicamente viável. No que se refere à reciclagem, a reciclagem mecânica se situa em posição hierarquicamente superior à reciclagem energética (incineração), em função do principio da conservação de material e energia de baixa entropia.

O sistema de gerenciamento ambiental vem sendo sistematizado por acadêmicos da área de engenharia industrial e ambiental de acordo com uma ordem de prioridades baseada na conservação de recursos naturais e não geração de resíduos. Na hierarquia do gerenciamento

[36] Segundo o MMA, a "Agenda 21 pode ser definida como um instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, em diferentes bases geográficas, que concilia métodos de proteção ambiental, justiça social e eficiência econômica." Disponível em:<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21>. Acesso em: 06 maio 2014.

ambiental das atividades econômicas, deve ser dada prioridade às ações de Prevenção à Poluição (PP ou P2) ou Produção Mais Limpa (P+L) e, em ultimo caso, recorre-se às Medidas de Fim de Tubo.

Figura 3- Hierarquia das opções de gerenciamento ambiental.



Fonte: Adaptado de Oliveira (2011); Marinho e Kiperstok (2001).

A PP vem sendo empregada para incentivar a redução na fonte e as Medidas de Fim de Tubo lidam com os resíduos que inevitavelmente foram gerados nas atividades de consumo, distribuição e produção de produtos. Ou seja, a prioridade é a não geração de resíduos, ao invés de concentrar esforços apenas no gerenciamento dos resíduos já gerados. Assim, as práticas de PP são: Consumo Sustentável, Ecologia Industrial, Modificação no produto, Modificação no processo e Modificação na Operação. Uma vez esgotadas as possibilidades técnicas de Prevenção à poluição, os resíduos que inevitavelmente foram gerados são encaminhados à etapa seguinte, representada pelas “Medidas de fim-de tubo”, que abrangem as técnicas de Reciclagem, Tratamento e Disposição de resíduos. Assim, pode ser alcançado o gerenciamento ambiental hierarquizado, como pode ser observado na Figura 3

No contexto da PP, destaca-se o conceito de Ecologia Industrial. Trata-se de “uma área do conhecimento que surgiu na década de 70, onde se estudam os fluxos materiais e energéticos

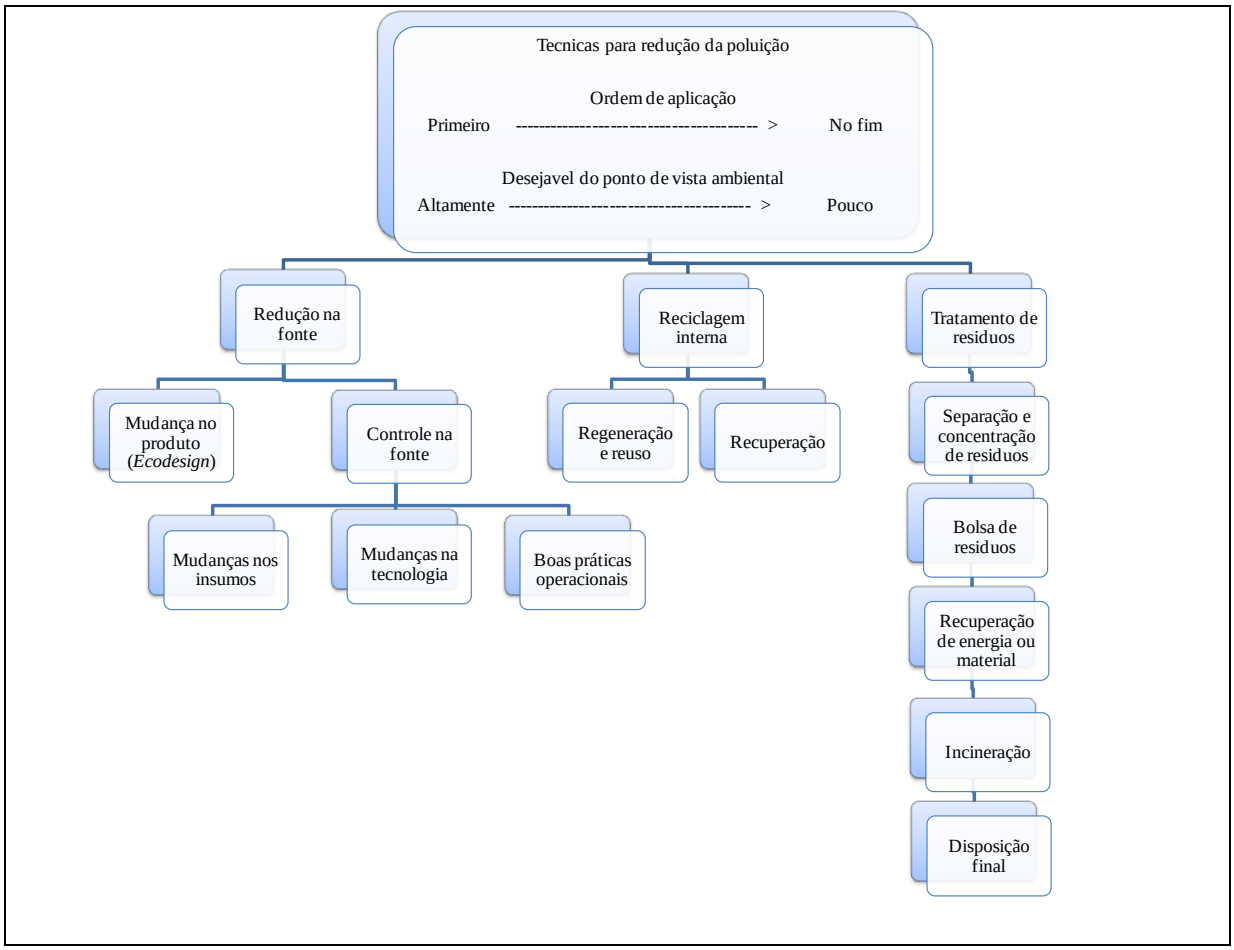
das atividades industriais e de consumo. Além disto, também são estudados "os efeitos destes fluxos sobre o meio ambiente e a influência dos fatores econômicos, sociais, políticos e regulatórios sobre o fluxo, o uso e a transformação dos recursos" (ROJAS, 2012) [37]. Autores como Rojas (2012) e Lifset e Graedel (2002) associam a Ecologia Industrial à teoria da economia ecológica. Isto porque esta também se baseia na dinâmica do ecossistema como um modelo para a dinâmica das atividades econômicas, de onde sai o conceito de sistemas de ciclos fechados de materiais, também conhecido como *loop closing*. Além disto, a Ecologia Industrial também situa o sistema econômico como parte de um ecossistema maior, que engloba e suporta as atividades econômicas. Logo, com base na economia ecológica, a Ecologia Industrial leva em conta também o balanço energético dos materiais e se baseia na idéia de sistemas entrópicos.

No fluxograma do gerenciamento ambiental baseado na PP, observa-se na Figura 4 a hierarquia das ações mitigadoras de resíduos que deve ser seguida em todos os processos de consumo, distribuição e produção da economia. A ordem cronológica de utilização das técnicas de redução da poluição atende ao critério ambiental. Desse modo, quanto mais desejável for a técnica, do ponto de vista ambiental, mais rapidamente deve-se proceder a sua aplicação. Técnicas pouco desejáveis do ponto de vista ambiental devem ser adotadas em ultimo caso. Segundo a economia ecológica, tal ordenamento prioriza as técnicas que preservam a baixa entropia nos materiais, ou seja, mantendo em os em níveis de entropia dos recursos mais baixos quanto forem possíveis, situação mais eficaz em termos de conservação energética.

A Figura 4 mostra que a diferenciação da reciclagem mecânica interna é feita no interior do processo gerador de resíduo pelo próprio agente. A reciclagem externa, feita fora dos limites físicos do processo gerador de resíduos, compreende as etapas de recuperação, tratamento de resíduos, separação, concentração destes e bolsa de resíduos para transação no mercado. Pelos princípios do PP, as técnicas de reciclagem energética e incineração devem ser aplicadas somente para a redução do volume de resíduos que chegam aos aterros sanitários, cuja geração não pode ser evitada e que não foram tratados nas etapas anteriores.

Figura 4- Diagrama esquemático da ordem de prioridade sugerida pela Produção mais Limpa

[37] Rojas (2012) se baseia em Lifset e Graedel (2002) para descrever o conceito de Ecologia Industrial.



Fonte: Adaptado de Azevedo (2004); Lagrega, Buckingham e Evans (1994); Marinho, 2001; Kiperstok (2002).

Nesse arcabouço gerencial se inscreve o modelo de organização industrial conhecido como Economia Circular (*Circular Economy* - *CE*). Este busca religar o aumento da prosperidade atribuída ao crescimento econômico com o consumo sustentável dos recursos naturais. O reajuste dos preços dos recursos naturais é uma das saídas para esta readequação entre produção e a resiliência da natureza, que é a capacidade da natureza em fornecer recursos exauríveis (PRESTON, 2012). Este conceito é considerado inovador no âmbito da teoria econômica, pois na economia convencional, os recursos naturais têm valor muito baixo ou inexistente, pois são recursos não produzidos (YOUNG, 2010).

O conceito de Economia Circular foi desenvolvido no âmbito da Ecologia Industrial nos anos 70. Neste conceito, os recursos finitos devem ter o ciclo fechado, também conhecido do berço ao berço (*cradle – to – cradle*) (PRESTON, 2010). A opção de matérias-primas biodegradáveis e utilização de recursos energéticos renováveis deve ser priorizada para reduzir a depleção dos recursos finitos.

Vellani e Gomes (2010) descrevem que as firmas e demais atores econômicos ponderaram os

impactos negativos relacionados à liberação de resíduos durante o processo produtivo. A vantagem competitiva é atribuída às firmas que obtém ganhos econômicos advindos da redução da poluição, tanto reduzindo as taxas pagas para poluir quanto evitando custos de desperdício de materiais. Desta forma, o gerenciamento de resíduos tende a aumentar a Ecoeficiencia empresarial. Neste sentido, Preston (2012) explicita a necessidade de aplicação dos instrumentos econômicos para a adequação das empresas ao principio da economia circular[38].

4.6 COMPARAÇÃO ENTRE RECICLAGEM MECÂNICA E RECICLAGEM ENERGÉTICA

A comparação entre rotas de reciclagem no contexto do gerenciamento de RSU é apresentada na literatura de variadas formas. A dicotomia entre estas duas rotas de reciclagem vem sendo tratada de forma cientifica pelo menos desde a década de 1990. Na literatura internacional, Jeffrey Morris (1996) e Paul Connett (1998) são identificados como precursores da abordagem econômica da gestão de resíduos comparada. Estes estudos são resultado de estudos precedentes que identificaram os componentes das emissões advindas dos incineradores instalados na Europa, desde o final do século XIX.

Morris (1996), no artigo denominado "*Recycling versus Incineration: An energy conservation analysis*", realizou uma comparação entre as rotas de reciclagem mecânica e energética, do ponto de vista da energia conservada em cada uma destas rotas. Ele compara a quantidade de energia gerada pela incineração com a quantidade de energia conservada com a reciclagem mecânica. O autor utiliza os dados de RSU secos e orgânicos de Ontário (Canadá) e se baseia nos parâmetros da tecnologia *mass burn* de reciclagem energética. A conclusão foi de que a reciclagem mecânica com a compostagem economiza um montante de energia equivalente a três vezes a quantidade de energia gerada com a incineração do mesmo material reciclável.
Em Connett (1998), o artigo denominado "*Municipal waste incineration: A poor solution for the twenty first century*" o autor aprofunda a discussão dos males da incineração e utiliza como contraponto os benefícios da reciclagem mecânica.

[38] Preston (2010) cita, como exemplo, o estudo do grupo *Green Alliance* do Reino Unido, focado em instrumentos econômicos e segurança na utilização dos recursos naturais.

Outros trabalhos como Denison (1996) Climate Works (2012), Empresa de Pesquisa Energética (2008) e European Comission (2013), se propõem a fazer a comparação entre rotas tecnológicas. Entretanto, a rota de reciclagem mecânica a que estes trabalhos se referem inclui a estimação do custo beneficio da compostagem de resíduos orgânicos. Alguns destes trabalhos ainda incluem a receita obtida com o gás gerado no aterro sanitário pelos rejeitos não-recicláveis mecanicamente.

4.7 LITERATURA SOBRE APLICAÇÃO DE INSUMO-PRODUTO A RECICLAGEM E DADOS AMBIENTAIS

As externalidades ambientais relacionadas ao processo de exploração e transformação do meio ambiente e recursos naturais pelo homem vêm sendo alvo de investigações desde meados do século XX. Segundo Freitas (2007), a utilização de matrizes Insumo-Produto para analise de efeitos ambientais é inaugurada em 1966, por John Cumberland, em uma pesquisa sobre custo beneficio ambiental das atividades produtivas. Em seguida, Herman Daly, em 1968, apresenta um modelo, que apesar de extremamente agregado, avança na classificação dos processos ecológicos em vitais e não vitais.

Quanto ao modelo de Isard (1960), a sua principal característica é não apenas indicar as “entradas” e “saídas” como conseqüência de escolhas no processo produtivo e localização do empreendimento, mas classificar os fenômenos dentro da lógica do próprio sistema ecológico. Desse modo, surgem três conceitos básicos nas relações de Insumo-Produto: produtos ecológicos, insumos ecológicos e processos ecológicos. Em conseqüência, definem-se as mercadorias ecológicas como aquelas que não são adequadamente transacionadas em mercados com respectivos preços (ar, água, algas, fósforo, aves, carbono, etc.).

Leontief (1970), o precursor da analise de Insumo-Produto convencional desenvolveu também um modelo em que a poluição é inserida em uma tabela de insumo-produto, como parte integrante do sistema econômico. Neste modelo, a poluição é um subproduto das atividades econômicas regulares. Para todo produto desejável e com valor de mercado positivo, foi estabelecido um respectivo co-produto indesejável, cujo valor de mercado é negativo. O método consiste em acrescentar uma linha, que representa a produção física de poluentes e uma coluna, que representa a estrutura da indústria de redução da poluição. Um dos problemas apontados no modelo de Leontief é que este se concentra apenas nos fluxos de

poluentes sem apresentar os bens livres.

Em 1993 órgão estatístico holandês (CBS) lançou a primeira matriz National Accounting Matrix With Environmental Accounts (NAMEA). Esta seria uma Matriz de Contas Nacionais incluindo Contas Ambientais (PIMENTEIRA, 2010). Seguindo a lógica da modelo ambiental de Leontief (1970; 1973), esta matriz relaciona as emissões e efluentes em unidades físicas ao produtos, dados em unidades monetárias. Pimenteira (2002; 2010) faz aplicação da analise de Insumo-Produto à reciclagem. O autor introduz um "setor de lixo domiciliar" que tem a peculiaridade de gerar apenas "produto" (PIMENTEIRA, 2002, p. 78). Este setor fornece insumo para os setores transformadores. Estes, por sua vez, também geram resíduos, o que segundo o autor, pode gerar coeficientes técnicos negativos, no modelo de Insumo-Produto tradicional.

O foco comum da aplicação da analise de Insumo-Produto às contas ambientais é a relação entre os diversos processos de produção e consumo e as suas "externalidades ambientais negativas". Os dados ambientais aparecem na forma de coeficientes técnicos, que relacionam a produção de um dado setor à utilização de insumos e à emissão de poluentes decorrentes das suas atividades produtivas. A razão entre o peso total de um poluente, por exemplo, o CO2, emitido por um dado setor, e o produto total deste mesmo setor é o coeficiente de poluição setorial. A matriz inversa de Leontief é usada para calcular os impactos diretos e indiretos da produção e consumo sobre o montante de poluentes emitidos nos diversos processos produtivos.

A aplicação da analise de relações intersetoriais à cadeia produtiva da atividade de reciclagem de resíduos pós-consumo e os seus impactos econômicos é encontrada em poucos trabalhos na literatura (RIBEIRO, 2010). O Grupo de Estudos de Relações Intersetoriais da Universidade Federal da Bahia (GERI – UFBA) reúne um grupo de estudos dedicado à pesquisa da economia da reciclagem de RSU, com aplicações da analise de Insumo-Produto. Dentre os trabalhos, destacam-se o de Freitas (2007), Delmont (2007), Freitas e Oliveira Filho (2009) e Ribeiro (2010), os quais são utilizados como referencial teórico nesta dissertação.

Os trabalhos citados acima utilizam metodologia muito semelhante para o calculo dos impactos na redução dos custos de produção, dada à hipótese de tecnologia do setor. Nesta dissertação, não será utilizada o modelo de analise encontrado na literatura de referencia.

Optou-se por uma analise que mostre a mudança tecnológica na estrutura de insumos decorrente da redução da oferta de matéria prima reciclável em substituída pela matéria-prima secundária.

Não há na literatura uma aplicação direta da analise de Insumo-Produto à estimação dos efeitos econômicos oriundos da reciclagem energética especificamente. Neste processo, o produto é energia elétrica, e neste caso será utilizada a mesma lógica da reciclagem mecânica. Isto é, os efeitos da reciclagem energética serão mostrados nos setores que ofertam e demandam energia gerada por fontes tradicionais. Estes setores serão alvo do aumento da geração de energia de fonte termoelétrica movida a RSU.

Freitas (2007) aponta o trabalho de Nakamura (1999) como um dos pioneiros na proposição de um modelo de Insumo-Produto adaptado à atividade de reciclagem de resíduos do tipo pós-consumo, desvinculando sua geração do nível de atividade observado. Este modelo reconhece o caráter peculiar da produção de resíduos, indicando como solução a explicitação de um setor de catação e triagem de materiais. O modelo de Nakamura inclui ainda a contabilização do CO2 gerado pela atividade de coleta, cuja aplicação empírica é limitada pela ausência de dados para completar a modelagem. O autor então propõe uma simplificação do modelo, focando a analise na redução dos custos proporcionada pela introdução, na cadeia produtiva, de matéria prima secundaria (reciclada) decorrente da reciclagem de RSU pós – consumo.

A abordagem Insumo-Produto aplicada à reciclagem é encontrada também na literatura internacional. Choi, Jackson, Leigh, et al (2011) propõem um modelo de Insumo-Produto para Contabilidade Ambiental (*Input - Output Enviromental Accounts - IOEA*), com delimitação regional para incorporar a reciclagem de resíduos eletrônicos na matriz de Insumo-Produto. Segundo os autores, o modelo IOEA pode ser aplicado à reciclagem de outros materiais para os quais se pretende evitar a eliminação. A motivação do estudo é a necessidade de uma modificação substancial do quadro convencional IO.

O presente capitulo apresenta o referencial teorico e a revisão de trabalhos empiricos. Diante da presente base empirica, o objetivo do trabalho é verificar as implicações economicas, do ponto de vista da cadeia produtiva, da adoção de duas diferentes rotas de reciclagem. Para atingir este objetivo, será apresentado no proximo capitulo a metodologia de empirica e base de dados necessaria.

5 CONSTRUÇÃO DE MATRIZES E MÉTODOLOGIA DE AFERIÇÃO DOS EFEITOS DAS ROTAS DE RECICLAGEM

Este capítulo apresentará a metodologia utilizada para simulação da mudança tecnológica, decorrente da reciclagem, sobre estrutura produtiva do estado da Bahia, para o ano de 2009. Em primeiro lugar, será apresentada a metodologia de analise de Insumo-Produto. Posteriormente, é mostrada a construção de Matrizes de Relações Intersetoriais (MRI) estaduais pelo método RAS biproporcional modificado e os coeficientes de ligação de Rasmussen. Em seguida, é mostrado o processo de quantificação física dos resíduos recicláveis presentes no RSU do município de Salvador, tanto do ponto de vista da rota de reciclagem mecânica quanto da rota de reciclagem energética. O banco de dados com a quantidade de resíduos gerados em Salvador se refere ao ano de 2010. Uma vez quantificados fisicamente, os resíduos são valorados aos preços de mercado. A partir daí, segue-se que com a explicação do modelo de Insumo-Produto utilizado para a aferição dos efeitos de cada uma das rotas de reciclagem estudadas nesta dissertação.

A modelagem apresentada pretende simular uma mudança tecnológica na estrutura de insumos dos setores da cadeia produtiva produzida pela reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos. É um modelo que analisa as conseqüências da reciclagem pela ótica dos setores fornecedores de matéria prima virgem. Através da redução do Valor Bruto da Produção do setor ofertante de matéria prima virgem e de energia de diversas fontes[39], é possível verificar a os recursos poupados pela redução na produção de matéria prima virgem, na medida em que esta é substituída por insumos recicláveis e reciclados.

5.1 O MODELO BÁSICO DE ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

Na década de 30, Wassily Leontief propôs o modelo básico de Insumo-Produto e seus principais pressupostos. De acordo com Guilhoto (2011), as origens da teoria de Leontief[40] podem estar relacionadas com a teoria do fluxo circular da renda, proposta nos séculos XVII e XVIII por precursores do estudo da economia política, tais como Willian Petty e Richard Contillon. Leontief, ao retomar esta teoria, propõe o estudo da distribuição da renda “entre as

[39] Considera-se que a energia gerada pela queima de RSU entra na matriz como substituto perfeito da energia elétrica provenientes de outras fontes.
[40] As obras seminais de Leontief são: LEONTIEF (1928) e LEONTIEF (1936).

classes envolvidas dentro do processo produtivo" (GUILHOTO, 2011, p. 2).

A tabela de Insumo-Produto sistematizaria a interdependência produtiva da economia, através do mapeamento das relações de compra e venda entre os setores de atividade econômica e entre estes e a demanda final. A formulação do modelo Insumo-Produto respeita as identidades macroeconômicas. O modelo tem, como ponto de partida, a identidade entre usos e recursos da economia e como ocorre a relação entre eles. Segundo descrição de Guilhoto (2011, p 11):

> [...] as relações fundamentais de insumo-produto mostram que as vendas dos setores podem ser utilizadas dentro do processo produtivo pelos diversos setores compradores da economia ou podem ser consumidas pelos diversos componentes da demanda final (famílias, governo, investimento, exportações). Por outro lado, para se produzir são necessários insumos, impostos são pagos, importam-se produtos e gera-se valor adicionado (pagamento de salários, remuneração do capital, e da terra agrícola), além, é claro, de se gerar emprego.

O modelo Insumo-Produto assume que somente os produtos domésticos são exportados. De acordo com Guilhoto (2011), nenhum produto importado pode ser exportado, sem que antes seja transformado domesticamente. O modelo também assume que todos os mercados estão em equilíbrio econômico.

A formulação matemática do modelo de Insumo-Produto parte das identidades macroeconômicas. Com base em Guilhoto (2011) e Miller e Blair (2009), a derivação do modelo de Insumo-Produto a partir das identidades macroeconômicas é mostrada na equação 5.1[41]. Partindo-se de um modelo com dois setores, Setor 1 e Setor 2, interdependentes, de tal modo que:

$$X1 + X2 + C + G + I + E \equiv X1 + X2 + M + T + W \quad (5.1)$$

Desta forma, a equação 5.1 reflete a identidade macroeconômica, Onde: *Ci* é o consumo das famílias dos produtos do setor *i*; *Gi* é o gasto do governo junto ao setor *i*; *Ii* é demanda por bens de investimento produzidos no setor *i*; *Ei* é o total exportado pelo setor *i*; *Xi* é o total de produção do setor *i*; *Ti* é o total de impostos indiretos líquidos pagos por *i*; *Mi* é a importação realizada pelo setor *i*; *Wi* é o valor adicionado gerado pelo setor *i*. Simplificando-se a equação

[41] Equação e notação (GUILHOTO, 2011, p. 15).

3.1, é obtida a equação 5.2:

$$C + G + I + E \equiv M + T + W \tag{5.2}$$

Rearranjando a equação 5.2:

$$C + G + I + (E - M) \equiv T + W \tag{5.3}$$

De acordo com Miller e Blair (2009), o lado esquerdo da identidade macroeconômica representa o Produto Nacional Bruto (PNB) (*Gross National produto*), que é o total gasto no consumo e bens de investimento, compras governamentais totais, e o valor total das exportações líquidas da economia. O lado direito representa a Renda Nacional Bruta (RNB) (*Gross National incumbe*), que é o total de pagamentos aos fatores de produção. Com base na equação 3.3, a fórmula de cálculo do modelo básico de Insumo - Produto é mostrada a seguir:

$$\sum_{j=1}^{n} fij + ci + gi + Ii + ei \equiv xi \tag{5.4}$$

Onde: *fij* é a produção do setor *i* que é utilizada como insumo intermediário pelo setor *j; ci* é a produção do setor *i* que é consumida domesticamente pelas famílias; *gi* é a produção do setor *i* que é consumida domesticamente pelo governo; *Ii* é a produção do setor *i* que é destinada ao investimento; *ei* é a produção do setor *i* que é exportada; *xi* é a produção domestica total do setor *i*.

De acordo com Guilhoto (2011), assumindo que os "[...] fluxos intermediários por unidade de produto são fixos, pode-se derivar o sistema aberto de Leontief." (GUILHOTO, 2011, p. 16). Para tanto, define-se a demanda final (*ci* + *gi* + *Ii*+*ei*) como *yi* e a demanda intermediária como uma função do produto doméstico total, xi, de tal maneira que a equação 3.4 pode ser reescrita:

$$\sum_{j=1}^{n} aij.xj + yi \equiv xi$$

(5.5)

Onde *aij* é o coeficiente técnico que mostra a relação entre a quantidade de insumo do setor i demandada para a produção de uma unidade de produto final do setor j. Na forma matricial, a equação acima é representada pela equação 5.6:

$$x = Ax+y$$

(5.6)

Em que:

A = Matriz de coeficientes técnicos da economia, com dimensão nxn.

x= Vetor coluna que representa o produto doméstico total, com dimensão nx1.

y= vetor coluna que representa a demanda final, também com dimensão nx1.

A proporção do consumo intermediário em relação ao VBP é descrita pela matriz A de coeficientes técnicos. Reescrevendo a equação 5.6, é possível se obter uma equação de reação da produção total em função de uma variação da demanda final (LEONTIEFF, 1970; GUILHOTO, 2011; MILLER; BLAIR, 2009).

$$x=(I-A)^{-1}.y$$

(5.7)

Onde $(I-A)^{-1}$ é a matriz Z de coeficientes diretos e indiretos, ou a matriz inversa de Leontief. (GUILHOTO, 2011; MILLER e BLAIR, 2009). Cada elemento *bij* representa a produção total do setor i utilizada na produção de uma unidade de demanda final do setor j.

Examinando detalhadamente a expressão $(I-A)^{-1}$, verifica-se que ela é produto da pós-multiplicação da matriz (I-A) por $(I + A^2 + A^3 + A^4 +...+ A^n)$. Esta multiplicação gera a expressão $(I- A^{n+1})$. Segundo Guilhoto (2011), os elementos da matriz A (*aij*) descrevem coeficientes técnicos de uma matriz produtiva, que devem estar entre 0 e 1. Esta propriedade dos elementos da matriz faz '*n*' tender ao infinito. Desta forma, os valores do último termo

($A^{n+1)}$ se aproximarem de zero. Com isto, é fácil perceber que (I + A^2 + A^3 + A^4 +...+ A^n) passa a ser considerada como a matriz $(I-A)^{-1}$ quando '*n*' tende a valores altos. (GUILHOTO, 2011, p. 17).

Os pressupostos originais do modelo básico de Insumo-Produto são: 1 - A matriz de produção é quadrada, isto é, cada setor produz um só produto, e cada produto é produzido por um só setor – Relação unívoca entre setores e produtos. 2 - A estrutura de insumos, isto é, a quantidade de bens intermediários consumidos por unidade de bem produzido, é estável no curto prazo (2 a 5 anos). (AQUINO, 2004). Outra uma característica do modelo original de Leontief é ter seus valores mensurados em termos físicos e a produção do setor *j* correspondia à soma do consumo intermediário e da demanda final do setor *j*. A aplicação empírica expôs problemas relacionados aos pressupostos do modelo.

O primeiro pressuposto gera um problema empírico, pois as Tabelas de Recursos e Usos, que constituem o ponto de partida para a análise de Insumo-Produto, não são quadradas. Freqüentemente encontra-se, nas economias reais, um setor produzindo, simultaneamente, mais de um produto (PEREIRA, 2009), tornando as TRU retangulares. Esta questão é resolvida por Gigantes (1970), com a adoção das hipóteses de *Market Share* e Estrutura de Insumos, para construção de matrizes de Insumo-Produto quadradas[42].

O segundo problema foi resolvido a partir da monetarização dos coeficientes técnicos. Os coeficientes são colocados em uma unidade de medida comum, o valor monetário, através da multiplicação das quantidades físicas de produtos pelos seus respectivos preços básicos. Com estas alterações, o modelo tornou-se mais adequado à interpretação econômica das relações intersetoriais de produção.

5.2 DERIVAÇÃO DA MATRIZ DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS A PARTIR DA TRU

A matriz A de coeficientes técnicos que compõe o modelo básico de Insumo-Produto deriva da matriz de Matriz de Relações Intersetoriais (MRI) da economia. A MRI reflete as relações de compra e venda entre os setores de atividade produtiva. Esta matriz mostra, ainda, as interdependências e complementaridades entre os setores. Desse modo, é muito útil para a

[42] O detalhamento desta solução será descrito na seção 5.3.

análise e planejamento das atividades econômicas de uma determinada região.

O modo mais direto de construção de uma Matriz de Relações Intersetoriais (MRI) é a partir da Tabela de Recursos e Usos da economia (TRU) [43]. As tabelas de Insumo-Produto são preenchidas com dados obtidos nas Tabelas de Recursos e Usos (TRU) da economia. Estes dados são sistematizadas em duas tabelas: a tabela de recursos e a tabela de usos (IBGE, 2007). Os recursos econômicos correspondem à oferta total de bens e serviços da economia e os usos econômicos correspondem à demanda total da economia.

A oferta total da economia é dividida da seguinte forma: (i) Oferta intermediária[44], que é composta por insumos domésticos ou Produção Intermediária[45] (PI); insumos importados, que corresponde à parcela de bens e serviços importados consumidos produtivamente e; "insumos primários" (trabalho, capital e terra). (GUILHOTO, 2011, p. 13). (ii) Oferta final, que é a soma dos produtos finais de origem doméstica com os produtos importados consumidos pelas famílias. (GUILHOTO, 2011). Os usos correspondem à demanda total de bens e serviços, tanto aqueles produzidos internamente quanto os bens e serviços importados. Segundo a identidade macroeconômica, a demanda total da economia é dividida nos seguintes componente: i - Demanda intermediária, que equivale ao consumo intermediário dos insumos domésticos, primários, importados; ii - Demanda Final[46], composta de Formação de capital e investimentos; Consumo das famílias; Consumo do governo; Exportações e outras demandas. (GUILHOTO, 2011; MILLER; BLAIR, 2009).

Desta forma, é possível destacar na TRU duas tabelas: Matriz de consumo intermediário setorial e a matriz de produção doméstica setorial. A Matriz de consumo intermediário, doravante denominada como matriz Q, mostra o consumo do produto i pelo setor j, para a produção de uma unidade monetária do bem j. A matriz de produção setorial, denominada de matriz P, mostra a produção do produto *i* pelo setor *j*. Ambas as matrizes são retangulares e necessariamente devem ter as mesmas dimensões. Na composição desse sistema de produção e consumo intermediário setorial, o numero de produto é maior do que o numero de setores,

---

[43] Ver detalhamento da TRU no ANEXO.

[44] "Oferta intermediária" (GUILHOTO, 2011, p. 50) é conhecida também como "*intermediate output"* (MILLER; BLAIR, 2009, p. 64)

[45] Produto intermediário ou "*intermediate production"*. (MILLER; BLAIR, 2009, p. 151).

uma vez que cada setor produz mais de um produto (GUILHOTO, 2011; AQUINO, 2004; PEREIRA, 2007). A partir desta representação das ofertas e das demandas setoriais na forma de matrizes, é possível formular sistemas de equações que podem ser manipuladas com a ajuda da álgebra linear matricial.

A álgebra matricial é um ramo da matemática que permite uma série de cálculos para a análise de problemas econômicos. Entretanto, assim como outros instrumentos quantitativos, possui limitações. Uma destas limitações é a impossibilidade de realizar varias operações algébricas com matrizes retangulares. Gigantes (1970) elaborou a solução para este problema. Para tanto, o autor adota duas hipóteses adicionais ao modelo básico. A primeira hipótese é a de *market share* médio, cujo objetivo, segundo Aquino (2004, p. 45) é "[...] explicitar a participação de cada setor econômico na produção dos produtos analisados, chamando a atenção para o fato de que nem todos são produzidos por um único setor, assim como muitos setores não produzem um único produto". A matriz de *Market Shar*e (MS) indica, portanto, a razão entre a produção setorial de cada produto e a sua produção total. Esta razão é obtida pela pré- multiplicação da matriz de Produção (P) pelo vetor de produção setorial total (*qp*). A segunda hipótese é a de tecnologia de setor ou Estrutura de Insumos do Setor, na qual os bens insumidos por cada setor são uma proporção da sua produção total. Esta estrutura pode ser descrita matematicamente pela multiplicação da matriz de consumo intermediário (Q) pelo vetor de consumo intermediário setorial total (*qs*) [47].

Tomando então as matrizes de *Market Share* (MS) e da Estrutura de Insumos (J), a MS é dada pela pré-multiplicação da matriz P pelo vetor *qp* diagonalizado e invertido. A matriz J é obtida pela pós-multiplicação da matriz Q pelo vetor *qs* diagonalizado e invertido, da seguinte forma:

$$MS = (\hat{q}_p)^{-1} \cdot P$$

(5.8)

Transpondo a matriz 5.8:

$$MS^T = P^T \cdot ((\hat{q}_p)^{-1})^T$$

(5.9)

[47] Este procedimento será descrito na próxima seção.

A pós- multiplicação da matriz MS pela matriz Q gera a matriz “Q quadrada”, que é a matriz tecnológica em valores monetários. Esta matriz expressa os fluxos monetários totais entre os setores. Esta matriz será muito útil na especificação do modelo de analise da economia da reciclagem pela “ótica da oferta”, apresentada ao fim deste capitulo.

$$Q \quad quadrada \quad = \quad MS \quad . \quad Q \tag{5.10}$$

Para a construção da matriz A quadrada, é necessário obter ainda a matriz de Estrutura de Insumos (J), da seguinte forma:

$$J = Q \cdot (\hat{q}_s)^{-1} \tag{5.11}$$

Salienta-se que o vetor de produção setorial total (qp) e o vetor de consumo intermediário setorial total (q_s) são extraídos da Matriz de Produção (P), a partir das seguintes manipulações algébricas:

$$q_p = \sum_{j=1}^{m} p_{ij} \qquad \text{com} \quad i = 1,2,3,...,n \tag{5.12}$$

$$q_s = \sum_{i=1}^{n} p_{ij} \qquad \text{com} \quad j = 1,2,3,...,n \tag{5.13}$$

Desta forma, a Matriz de Coeficientes Técnicos da Economia (A) ou Matriz Tecnológica, também conhecida como matriz *Per Unit* pode ser obtida a partir da multiplicação da transposta da matriz MS pela matriz J. A partir da matriz A, é possível obter a Matriz Inversa de Leontief $(I\text{-}A)^{-1,}$ na qual se baseiam as analises de Relações Setoriais mais importantes (Ribeiro, 2010; PEREIRA, 2007).

$$A = MS.J$$

(5.14)

$$A = ((\hat{q}_p)^{-1} \cdot P)^T \cdot Q \cdot (\hat{q}_s)^{-1}$$

(5.15)

Ou

$$A = P^T.((\hat{q}_p)^{-1})^T \cdot Q \cdot (\hat{q}_s)^{-1}$$

(5.16)

Ou

$$A = (MS)^T \cdot J$$

(5.17)

Sendo A= *aij*, tal que: *i= 1,2,3,...,n*; *j= 1,2,3,...*,

(5.18)

"A Matriz Tecnológica mostra as interdependências entre os setores da economia" (PEREIRA; 2007, p. 47). Pereira (2007) destaca a interpretação da matriz A em termos físicos, em que cada coeficiente a_{ij} da matriz *A* representa o montante total do produto *i* utilizado como insumo intermediário pelo setor *j* na produção de uma unidade. Em termos monetários, segundo Haddad (1997) cada coeficiente a_{ij} da matriz *A* indica quantos centavos do produto *i* o setor *j* demanda para produzir uma unidade monetária de VBP.

A soma dos coeficientes da matriz A das linhas ao longo das colunas deve estar entre zero e um. Esta consistência indica que não existem coeficientes técnicos negativos e o setor *j* demanda menos do que um real para produzir um real de produtos. Isto indica se trata de uma atividade produtiva, cujo consumo intermediário é menor do que o valor da produção.

Na próxima seção é apresentado o método de construção de MRIs estaduais a partir da aplicação de técnicas algébricas aos dados disponibilizados pelo IBGE, apresentando o método RAS de elaboração de matrizes bi-proporcionais, utilizado nesta dissertação para a construção da MRI Bahia 2009.

5.3 O MÉTODO BIPROPORCIONAL RAS

Em função da dificuldade de obtenção de dados primários para a elaboração das TRUs de estados ou regiões, encontram-se na literatura brasileira e internacional, outros métodos que possibilitam a projeção das matrizes estaduais. Em 1942, Leontief apresentou um método de atualização temporal de matrizes, sob a hipótese de coeficientes fixos. Sob esta hipótese, a estrutura tecnológica de produção mostrada pela matriz A permaneceria constante em espaços pequenos de tempo (2 a 5 anos), conforme Silveira (1993). Além disto, assumem-se retornos constantes de escala em todos os setores, inclusive com estabilidade da demanda por bens intermediários, mesmo que haja mudança nos preços relativos (LEONTIEF, 1970).

Posteriormente, surgiram os primeiros estudos empíricos para obtenção de matrizes regionais de Isard e Kuenne (1953), e Miller (1957), os quais destacaram que a hipótese de coeficientes fixos é considerada pouco realista (AQUINO, 2004). Atualmente, para a elaboração de matrizes regionais no Brasil, são mais utilizados dois diferentes métodos, a saber: o Método do Quociente Locacional e o Método RAS.

O Quociente Locacional é embasado pela teoria Neoclássica tradicional. (GUILHOTO, 2008). Trata-se de um método desenvolvido por pesquisadores da USP (Haddad) e da Universidade de Ilinois (Hewings) no final da década de 90 para atualização de matrizes regionais, inspirado em Isard (1960). Há duas principais criticas a este modelo, relacionadas ao seu arcabouço teórico Neoclássico. A primeira é a suposição da total mobilidade de fatores de produção e conseqüente ajustamento em direção ao equilíbrio das economias. A segunda deriva da primeira e diz respeito à construção algébrica do modelo, baseado nos pressupostos de equilíbrio geral (otimização) e mimetismo tecnológico, o que imprime à estrutura tecnológica regional a mesma configuração da estrutura tecnológica nacional.

Para este trabalho, a MRI Bahia 2009 foi elaborada a partir do segundo método de projeção de matrizes biproporcionais, conhecido como RAS, desenvolvido nos anos 70, por Stone (1962) e Bacharach (1970), segundo Leite (2009), e modificado posteriormente por Silveira (1993). Trata-se de um método de extrapolação de matrizes biproporcionais, em um processo de sucessivas multiplicações (iteração) de uma matriz original não negativa por vetores diagonalizados. (SILVEIRA, 1993). A vantagem deste método em relação ao QL é que ele produz matrizes estaduais projetadas que não reproduzem exatamente a mesma estrutura das

matrizes nacionais, mas guarda suas peculiaridades regionais. Além disso, aplicações empíricas atestam o desempenho satisfatório em diversos testes aos quais foi submetido o método, considerado por isto, mais realista, além de demandar dados de fácil obtenção (SILVEIRA, 1993; AQUINO, 2004).

5.4 MRI BAHIA – PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DA MRI BAHIA A PARTIR DA VARIANTE DO MÉTODO BI-PROPORCIONAL PARA A PROJEÇÃO DE MATRIZES DE RELAÇÕES INTERSETORIAIS

5.4.1 Construção da matriz Bahia pelo método RAS Biproporcional modificado

O ponto de partida para a projeção de matriz estadual, em termos monetários, a *Q quadrada Bahia*, é a *Q quadrada Brasil* (Qq^{BR}), oriunda da TRU Brasil, neste caso, para o ano de 2009. O método de obtenção da *Q quadrada Brasil* segue a mesma lógica da obtenção da matriz *A* Brasil. A partir da TRU, utilizando-se as hipóteses de *Market Share* (MS) e Estrutura de Insumos (J), deriva-se as matrizes *MS* e *J*, multiplicando-se uma pela outra, para obter a matriz *Q quadrada Brasil.* Todas estas matrizes são obtidas em valores monetários.

A partir da Qq^{BR} são obtidos, através da multiplicação da matriz pelos vetores soma linha e coluna (h' e h), os vetores de Produção Intermediária (PI) (m^{BR}) e de Consumo Intermediário (c^{BR}), respectivamente.

$$Qq^{BR} \,.\; h = m^{BR} \tag{5.19}$$

$$h'.\; Qq^{BR} = c^{BR} \tag{5.20}$$

A *proxy* para o vetor de PI do estado da Bahia para o ano de 2009 é construída a partir das informações sobre os valores da produção total setorial (q^{Bahia}) e do consumo intermediário setorial (c^{Bahia}), obtidas pelo Sistema de Contas Regionais (SCR) e da Pesquisa Industrial Anual (PIA), e da matriz Q quadrada Brasil, do período de referencia.

Como pressuposto inicial, Silveira (1993) sugere que existem diferenças entre a estrutura tecnológica estadual e a brasileira "produzindo-se uma Matriz *Q quadrada* provisória para o estado ($Qq^{Bahia}*$). Entretanto, como aponta Silveira (1993), as estruturas tecnológicas

estaduais e nacionais conservam semelhanças que influenciam na construção da *proxy* de PI estadual, da seguinte forma:

$$Qq^{Bahia}* = A^{BR} . <q^{. Bahia.}> \quad (5.21)$$

Da matriz provisória resultante é obtido um vetor provisório de PI setorial estadual, tal que:

$$Qq^{Bahia}*.h = m^{Bahia}* \quad (5.22)$$

A matriz Q quadrada do estado da Bahia definitiva é obtida pelo processo iterativo, utilizando-se os novos vetores “r” e "s”, que representam agora, respectivamente, a razão entre a PI e o CI estadual e nacional, em termos monetários. A descrição detalhada do processo é apresentada a seguir:

1º passo: $Q^1 = <r^1>.Qq^{BR}$ sendo cada

$$r_i^1 = \frac{m_i^{Bahia.}}{m_i^{BR}} \quad (5.23)$$

2º passo: $Q^2 = Q^1.<s^1>$ sendo cada $s_j^1 = \frac{c_j^{Bahia.}}{c_j^1}$

(5.24)

3º passo: $Q^3 = <r^2>.Q^2$ sendo cada $r_i^2 = \frac{m_i^{Bahia.}}{m_i^3}$

(5.25)

4º passo: $Q^4 = Q^3.<s^2>$ sendo cada $s_j^2 = \frac{c_j^{Bahia}}{c_j^3}$

(5.26)

O mesmo teste de convergência é aplicado, isto é, se a matriz Q^n não diferir significativamente de $Q^{n-1,}$ então Q^n é a melhor *proxy* de Q^{Bahia}.

A partir de Q^{Bahia} constrói-se a matriz de coeficientes técnicos do estado da Bahia, A^{Bahia}:

$$A^{\text{Bahia}} = Qq^{\text{Bahia.}} \cdot \left(\hat{q}^{\text{Bahia.}} \right)^{-1} \tag{5.27}$$

5.4.2 Detalhamento das informações utilizadas para a construção da MRI Bahia

Para a construção da MRI do estado da Bahia para o ano de 2009, foram utilizados os vetores de VBP, CI e VA do estado e do país no mesmo período, além das matrizes de Produção e Consumo Intermediário da TRU Brasil, do ano de 2009. Os vetores estaduais deste período eram divulgados pelo IBGE com abertura para 17 setores de atividade. Quanto aos vetores e as matrizes nacionais, o nível de abertura da TRU Brasil para divulgação pelo IBGE é de 56 setores de atividade e 110 produtos. Desse modo foram necessárias duas etapas de compatibilização do nível de agregação dos setores estaduais e nacionais.

Na primeira etapa, os vetores estaduais do Sistema de Contas Regionais foram desagregados utilizando os dados da Pesquisa Industrial Anual (PIA) estadual de 2009. A PIA utilizada é a do nível de trabalho do IBGE, o que indica a sua máxima desagregação dos setores de atividade pela CNAE 2.0 subclasses, ou seja, em quatro dígitos. Desta forma, os 17 setores de atividade do SCR foram desagregados em 49 setores de atividades através da PIA estadual.

A segunda etapa foi a agregação da TRU Brasil para tornar compatível com os novos vetores regionais. As matrizes de produção (P) e consumo intermediário (Q) da TRU Brasil são divulgadas pelo IBGE contendo 56 setores de atividade e 110 produtos. Os 56 setores foram agregados em 49 setores, através da soma algébrica de alguns setores. A agregação seguiu a classificação CNAE SCN 56, tal como segue no Quadro 3:

Quadro 3 - Agregação dos setores da TRU Brasil

Codigo do setor resultante	Setor resultante	Subsetores agregados
202 e 203	Outras da industria extrativa e mineral	Minerio de ferro + Outras da industria extrativa
330 e 331	Automóveis e caminhonetas	Caminhões e ônibus + Automóveis e caminhonetas
601 e 1101	Comércio e Manutenção e reparação	Comércio + Serviços de manutenção e reparação
1104 e 1105	Educação e Saude mercantis	Educação mercantil + Saúde mercantil
1106 e 1107	Serviços prestados às famílias e associativas	Serviços prestados às famílias e associativas" e "Serviços domésticos
1201, 1202 e 1203	Administração, Saúde e Educação pública e seguridade social	Educação pública + Saúde pública + Administração pública e seguridade social

Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de IBGE (2011).

Assim, se chegou a uma matriz de 110 produtos por 49 setores de atividade. Com relação à

desagregação Contas Regionais, no caso dos vetores de CI, VBP e VA, obtidos no Sistema de Contas Regionais, o trabalho de redefinição dos setores foi inverso. O setor de Indústria de Transformação foi desagregado em 33 setores, de acordo com as proporções da PIA. Os códigos que aparecem na coluna à esquerda são referentes à CNAE do Sistema de Contas Nacionais nível de divulgação, isto é, código compatível com a os 56 setores de atividade divulgados na TRU.

Quadro 4 - Código SCN e descrição dos 49 setores da matriz

Nº do setor	Codigo SCN	49 setores - Descrição
S1	101	Agricultura, silvicultura, exploração florestal
S2	102	Pecuária e pesca
S3	201	Petróleo e gás natural
S4	202 e 203	Outros da indústria extrativa
S5	301	Alimentos e Bebidas
S6	302	Produtos do fumo
S7	303	Têxteis
S8	304	Artigos do vestuário e acessórios
S9	305	Artefatos de couro e calçados
S10	306	Produtos de madeira - exclusive móveis
S11	307	Celulose e produtos de papel
S12	308	Jornais, revistas, discos
S13	309	Refino de petróleo e coque
S14	310	Álcool
S15	311	Produtos químicos
S16	312	Fabricação de resina e elastômeros
S17	313	Produtos farmacêuticos
S18	314	Defensivos agrícolas
S19	315	Perfumaria, higiene e limpeza
S20	316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
S21	317	Produtos e preparados químicos diversos
S22	318	Artigos de borracha e plástico
S23	319	Cimento
S24	320	Outros produtos de minerais não-metálicos
S25	321	Fabricação de aço e derivados
S26	322	Metalurgia de metais não-ferrosos
S27	323	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos
S28	324	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos
S29	325	Eletrodomésticos
S30	326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
S31	327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
S32	328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
S33	329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico
S34	330 e 331	Automóveis, camionetas e utilitários
S35	332	Peças e acessórios para veículos automotores
S36	333	Outros equipamentos de transporte
S37	334	Móveis e produtos das indústrias diversas
S38	401	Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana
S39	501	Construção civil
S40	701	Transporte, armazenagem e correio
S41	601 e 1101	Comércio e Manutenção e reparação
S42	801	Serviços de informação
S43	901	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados
S44	1001	Atividades imobiliárias e aluguéis
S45	1102	Serviços de alojamento e alimentação
S46	1103	Serviços prestados às empresas
S47	1104 e 1105	Educação e Saúde mercantil
S48	1106 e 1107	Serviços prestados às famílias e associativas e serviços domésticos
S49	1201, 1202 e 1203	Administração Saúde e Educação Públicas e seguridade social

Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de IBGE (2011).

A partir da compatibilização dos setores regionais do estado da Bahia com os setores

nacionais, partiu-se para a realização do processo interativo através do método RAS descrito anteriormente.

5.5 MÉTODOS DE AFERIÇÃO DOS EFEITOS ECONÔMICOS CAUSADOS PELA RECICLAGEM NA CADEIA PRODUTIVA

A forma como a reciclagem mecânica e a energética de resíduos sólidos no município de Salvador afetam a cadeia produtiva do estado da Bahia, será analisa a partir do método de Insumo-Produto. Especificamente, através da Matriz de Relações Intersetoriais (MRI) do estado da Bahia, do ano de 2009. Este instrumento foi escolhido porque permite entender as relações intersetoriais da economia do estado. Isso permite a analise das implicações da adoção das rotas de reciclagem alternativas na cadeia produtiva da economia do estado da Bahia. Com este resultado, é possível responder questões cruciais sobre a contribuição da reciclagem para o meio ambiente, a saber: Quais setores são mais estimulados a aumentar sua produção e quais setores viriam a reduzir sua produção em função da adoção dos métodos de reciclagem ?.

Com a valoração e estimação dos setores afetados pela reciclagem mecânica e a reciclagem energética, é possível dar contribuições para a formulação de políticas publicas que promovam a utilização conservadora de recursos naturais. Ao mesmo tempo, também é possível garantir a economicidade destas escolhas. Neste sentido, as conseqüências da reciclagem sobre os setores são separados em dois grupos: i - As conseqüências sobre a estrutura de insumos dos setores que demandam matérias- primas secundárias, em substituição das matérias primas virgens e; ii - Os efeitos sobre os setores ofertantes de materiais primas – virgens[48].

A forma de aferição dos efeitos da reciclagem (mecânica e energética) em cada um dos grupos de setores enfatiza as conseqüências da reciclagem de matéria - prima sobre os setores que ofertam matéria prima virgem aos setores de indústria de transformação. Para isto, é imputado ao modelo a redução do VBP (CI e VA) dos setores ofertantes de matéria -prima virgem, gerando uma nova matriz Q quadrada, com a qual se compara a matriz Q quadrada

[48] Cabe ressaltar que existem ainda outras abordagens que podem ser utilizadas para analise de impactos dos processos de reciclagem e que não fazem parte do escopo deste trabalho.

original. A este processo de substituição de insumos pode-se dar o nome de mudança tecnológica na estrutura de insumos. Nesta dissertação, será utilizado apenas o modelo de mudança tecnológica da estrutura de insumos. Este modelo é apresentado aqui como uma inovação metodológica, que pretende verificar a economia de recursos derivada da redução da depleção dos recursos naturais virgens.

Considera-se neste trabalho, por suposto, que a reintrodução de matéria prima secundaria no ciclo produtivo, a partir dos setores transformadores, provocaria uma redução, pelo menos igual, da demanda por matéria prima virgem. A matéria prima secundária é concorrente direta da matéria prima virgem, pois são substitutos 'quase' perfeitos no processo produtivo. Desta forma, os setores ofertantes de matéria prima virgem teriam que adaptar seus níveis de produção, reduzindo-os em igual magnitude.

5.6 VALORAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS GERADOS NO MUNICÍPIO DE SALVADOR EM 2010

Esta seção apresenta os cálculos efetuados para valorar, em termos monetários, o potencial econômico dos RSUs considerando as duas rotas tecnológicas aqui estudadas. Torna-se necessário ainda um esclarecimento sobre a comparação da mudança tecnológica na estrutura de insumos provenientes da reciclagem energética e reciclagem mecânica sobre a estrutura produtiva do estado da Bahia.

As duas rotas tecnológicas "trabalham" com grupos de materiais diferenciados, devido às especificidade físico-químicas e econômicas de cada grupo. Desse modo, plástico e papel são materiais igualmente importantes e valorizados em ambas as cadeias produtivas. A cadeia de reciclagem mecânica do plástico e a do papel são bastante desenvolvidas, tendo alta reciclabilidade. E estes também são materiais muito valorizados pela reciclagem energética, devido ao seu alto poder calorífico. Entretanto, os metais, tanto os ferrosos quanto os não-ferrosos não são recicláveis energeticamente através da incineração. Em compensação, estes metais possuem valor na cadeia produtiva da reciclagem mecânica, especialmente os metais não ferrosos. Com isto, a rota de reciclagem mecânica pode vir a ser subestimada, devido à não contabilização de outras receitas associadas a esta rota, como o tratamento dos resíduos orgânicos, que poderia gerar receita com a venda do gás metano e adubos.

Outro conjunto de materiais também é mais valorizado em uma cadeia do que em outra, tais como a borracha e a própria matéria orgânica. O vidro não tem poder calorífico, porém possui boa reciclabilidade mecânica. Entretanto, a Bahia não possui plantas de reciclagem mecânica de vidro, o que dificulta a sua apreensão pelas contas regionais. Dessa forma, foi feita a opção de não introduzir o vidro em nenhuma das duas cadeias. Para tratar dessas peculiaridades, em cada rota tecnológica são especificados quais materiais estão sendo considerados, bem como, a quantidade de cada um na composição gravimétrica.

Não existe uma divisão ou grupo para classificar a indústria transformadora que utilize especificamente os materiais recicláveis na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) do IBGE. O órgão estatístico nacional entende que a desagregação entre a atividade recicladora e a atividade de transformação industrial só faz sentido até o nível de transformação de sucatas e resíduos em matérias-primas secundárias, atividades consideradas pré – industriais, tanto que se classificam, na seção E – Água, Esgoto e Atividades de Gestão de Resíduos e Descontaminação. Nesta seção encontram-se as classes 3831.9 – Recuperação de materiais metálicos; 3832.7 - Recuperação de materiais plásticos e; 3839.4 - Recuperação de materiais não especificados anteriormente. Neste ultimo se incluem a recuperação de papel, papelão, vidro e outros materiais recicláveis.

A definição literal do grupo 383 – Recuperação de Materiais da CNAE 2.0 é dada pelo IBGE (CNAE; 2013). “Este grupo compreende a recuperação de materiais descartados obtidos pela separação e a classificação de materiais misturados com o uso de esteiras de lixo ou de outros meios de separação (p.ex., papel, plásticos, latas de bebidas descartadas e metais).”

5.6.1 Valoração do potencial energético dos Resíduos Sólidos Urbanos

A valoração dos RSU gerados no município de Salvador no ano de 2010 segue a metodologia empregada pela Empresa de Pesquisa Energética (BRASIL, 2008-c) e pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (MINAS GERAIS, 2012). Essa valoração é realizada em cinco etapas: (i) Identificação do poder calorífico por grupo de material; (ii) Quantificação do material que tem potencial de gerar energia quando incinerado; (iii) Calculo do PCI do material passível de incineração; (iv) Quantificação da capacidade de geração de energia elétrica, medida em MWh por tonelada de material, proporcional ao PCI do RSU de Salvador e (v) Precificação do potencial energético dos recicláveis. Para tanto, o trabalho de Minas Gerais (2012) fornece

os parâmetros para mensuração de Poder Calorífico Inferior do RSU e do seu rendimento energético, em MWh por tonelada de resíduo.

A primeira etapa dessa metodologia consiste na identificação do poder calorífico[49] de cada grupo de material. A segunda coluna da
Tabela **3** traz os valores do PCI por grupo. Tal valor indica que cada quilo do material tem um determinado por calorífico. Por exemplo, um quilo de madeira tem um PCI de 2.490 Kcal. O grupo de borracha e o de plástico possuem os maiores níveis de poder calorífico entre todos os materiais (8.633 kcal/ kg e 8.193 kcal/kg, respectivamente). No outro extremo, a matéria orgânica é o material com menor poder calorífico (712 kcal / kg). Vidros e metais não possuem PCI, portanto, não têm capacidade de gerar energia elétrica, de acordo com os parâmetros da tecnologia *massa burn*. Essa quantificação do poder calorífico permite a mensuração do potencial energético de cada RSU.

Tabela 3 - Potencial energético dos RSU produzidos no município de Salvador, para o ano de 2010

Componente	PCI kcal/kg por material	Composição gravimétrica percentual	Composição gravimétrica absoluta (em toneladas)	RSU incinerável (em toneladas)	Contribuição ao PCI Total (kcal/kg)	Percentual do PCI Total
Matéria Orgânica	712	42,1%	348.764	348.764	300	11,6%
Plásticos	8.193	22,1%	183.072	183.072	1.812	70,3%
Papel e Papelão	2.729	12,8%	105.937	105.937	349	13,5%
Têxteis e Couro	1.921	4,7%	39.230	39.230	91	3,5%
Madeira	2.490	0,3%	2.317	2.317	7	0,3%
Borracha	8.633	0,2%	1.821	1.821	19	0,7%
Inertes / rejeitos (metal + vidro + outros rejeit	-	17,7%	146.739	-	-	0%
Total	-	**100%**	**827.879**	**681.140**	**2.579**	**100%**

Fonte: Adaptado de Brasil (2009 – b); Minas Gerais (2012); Climate Works (2012); Salvador (2012-b).

A partir da identificação dos grupos de materiais relevantes para a geração de energia elétrica, através da incineração *mass burn*, é necessário quantificar os materiais com poder calorífico. De acordo com a composição gravimétrica dos RSU produzidos no município de Salvador,

[49] Indica a capacidade potencial de um material liberar determinada quantidade de energia quando submetido à queima. Essa quantidade de energia influencia o dimensionamento das instalações de todos os processos de tratamento térmico. Este poder calorífico pode ser expresso como **Poder Calorífico Superior (PCS)** ou **Poder Calorífico Inferior (PCI)** são as unidades de medida internacionalmente aceitas para combustíveis sólidos o kJ/kg ou MJ/kg, nas bases seca, úmida ou úmida e sem cinzas. O valor expresso em kcal/kg é também muito usado. (MINAS GERAIS, 2012, p. 159). O **Poder Calorífico Superior (PCS)** expressa a quantidade de energia liberada na forma de calor durante a combustão completa do combustível sem umidade (base seca). A água formada na oxidação do hidrogênio do combustível permanece no estado líquido. O PCS pode ser medido precisamente utilizando uma bomba calorimétrica adiabática a volume constante para combustíveis líquidos ou sólidos. Quanto ao **Poder Calorífico Inferior (PCI)** é o resultado do PCS após a subtração da energia gasta para evaporar a água formada na oxidação do hidrogênio do combustível durante a combustão. Neste caso, considera-se a água gerada pelos produtos de combustão na forma de vapor. (MINAS GERAIS, 2012, p. 160).

obtida em Prefeitura Municipal de Salvador (2012), 42% dos RSU gerados no município de Salvador é composto de matéria orgânica. Os plásticos ocupam 22,1%, seguido por papéis 12,8%. A menor participação é observada no grupo de borracha e madeira, que juntos, somam 0,5% do total. Do total de 827.879 toneladas geradas no ano de 2010 pelos domicílios e pequenas instalações comerciais do município, a parcela de RSU incinerável corresponde à 82,3% ou 681.140 toneladas. Este valor é resultado da subtração do peso dos resíduos inertes do peso total gerado no período.

Com base nas informações e parâmetros técnicos apresentados sobre a tecnologia de incineração com recuperação energética, foi estabelecida nesta dissertação, a hipótese de que as rotas de reciclagem aqui analisadas são mutuamente excludentes. A reciclagem mecânica, ao promover a separação dos materiais recicláveis para a transformação de materiais primas secundárias para a indústria de transformação, desvia os materiais com maior poder calorífico dos RSU. Desta forma, a reciclagem mecânica compromete seriamente a viabilidade econômica e tecnicamente a reciclagem energética, causando um conflito de interesses entre os beneficiados.

Na terceira etapa de valoração energética dos RSU, é preciso calcular o PCI do RSU de Salvador, através de valores padronizados de PCI. Calcula-se o PCI do material passível de incineração, para saber qual é o valor do PCI dos RSU gerados na capital do estado da Bahia. Para tanto, utiliza-se a seguinte equação:

$$Valor\ do\ PCI\ por\ kg.de\ RSU = PL + PA + ME + BO + VI \tag{5.28}$$

Onde:

PL = (Total de kg de RSU) x (% plásticos) x (PCI plástico - kcal / kg) (5.29)

PA = (Total de kg de RSU) x (% papel) x (PCI papel - kcal / kg) (5.30)

ME = (Total de kg de RSU) x (% metal) x (PCI

metal - Kcal / kg) (5.31)

BO = (Total de kg de RSU) x (% borracha) x (PCI borracha - kcal / kg) (5.32)

VI = (Total de kg de RSU) x (% vidro) x (PCI borracha - kcal / kg) (5.33)

O resultado da equação expressa o PCI do RSU de Salvador como a soma da contribuição de cada material ao PCI total por quilo de RSU incinerado. Os valores são dados em quilocaloria por quilo de RSU (kcal/kg). No caso de Salvador, este valor atinge 2.579 kcal / kg, no RSU. Segundo Brasil (2009 - a) e Minas Gerais (2012) o PCI que garante a viabilidade econômica da planta de incineração é 1.973 Kcal /kg. Abaixo deste patamar, a geração de energia a partir de resíduos dependeria de um combustível auxiliar, tal como gás ou óleo combustível. Assim, no caso dos RSU de Salvador, foi efetuado o seguinte calculo:

A quarta etapa é a quantificação da capacidade de geração de energia elétrica, medida em MWh por tonelada de RSU, proporcional ao PCI do RSU de Salvador. Tomando o PCI do RSU de Salvador, que é de 2.579 kcal/ kg e a quantidade de RSU incinerável que é de 681.140 toneladas de RSU, calcula-se a quantidade de MWh que pode ser gerada por ano, dados estes parâmetros. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética, as usinas a incineração podem gerar entre 450 e 700 kWh (equivalente a 0,45 a 0,7 MWh) por tonelada de RSU. Este valor é semelhante aos informados pelos estudos da Climate Works (2012) e Minas Gerais (2010), de 500 KWh ou 0,5 MWh. O montante de energia gerada por tonelada depende da composição gravimétrica dos RSU. O trabalho da Via Pública (2012) associa o potencial de 0,5 MWh/ tonelada incinerada, ao valor de PCI de 1.973 kcal/kg. Evidentemente, o PCI varia conforme a composição gravimétrica do RSU estudado. Como resultado, ao variar a composição gravimétrica, o PCI por kg de RSU será alterado.

A comparação entre a composição gravimétrica dos RSU gerado no município de Salvador e dos RSU do município de São Paulo, foi efetuada para servir de base para o referido trabalho. Nesta comparação, foi observado que a composição dos resíduos não triados de Salvador possuía maior percentual de resíduos com poder calorífico elevado, como plástico e papel. Por outro lado, havia menos resíduos úmidos de matéria orgânica. Isto indica que, se não

triados, os resíduos soteropolitanos passiveis de incineração apresentariam um PCI maior que o do estudo de referencia. Isto leva a um maior potencial de geração de energia elétrica para os RSU de Salvador do que o encontrado no RSU de São Paulo. Diante deste impasse, nesta dissertação optou-se por considerar o valor médio de 0,5 MWh dado pelo trabalho Via Pública (2012), para cada tonelada de RSU gerado em Salvador.

A composição gravimétrica dos RSUs paulistas produz um PCI menor do que o produzido pelos RSUs soteropolitanos, 1.973 kcal / ton. contra 2.579 kcal/ton., respectivamente. A aplicação de uma regra de três simples permitiu que pudesse ser verificado o efeito proporcional da variação na composição gravimétrica sobre o montante de MWh gerado por tonelada de RSU incinerado[50].

O valor de 0,65 MWh por tonelada de RSU incinerável gerado no município de Salvador foi obtido. Este valor é pouco abaixo do valor máximo divulgado por Brasil (2009 – a), de 0,7 MWh por tonelada. Multiplicando o total de resíduos (681.140 toneladas) pelo MWh por tonelada (0,65 MWh), chegada-se ao montante de 442.580 MWh / ano.

A ultima etapa para a valoração dos RSU de Salvador é a precificação do seu potencial energético. Essa precificação é feita pela multiplicação da quantidade de MWh potencialmente contida nos RSU de Salvador pelo preço praticado no mercado de geração e transmissão de energia de fonte termoelétrica. A escolha do preço de compra e venda da energia potencialmente gerada foi embasada igualmente nos estudos de referencia. A Empresa de Pesquisa Energética (2008) sinaliza que o preço da energia ou custo de referencia da energia para o “dimensionamento da expansão da oferta de energia elétrica” para projetos de geração, no período de 2010 a 2013, este preço varia de R$ 90 a R$ 125 por MWh, considerando os preços nominais de 2006.

O estudo da Climate Works (2012) aponta um preço de R$ 102, 18 para cada MWh produzido por usinas termoelétricas. O preço foi obtido no leilão A5 de dezembro de 2011[51], para uma demanda projetada para 2016. Este preço será tomado como referencia para a valoração do

---

[50] 1.973 kcal/kg ---------- 0, 5 MWh/ ton.
2.579 kcal/kg ---------- X MWh/ ton.

[51] EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Informe à imprensa: Leilão de Energia A-5 / 2011. São Paulo, dezembro de 2011. Disponível em:<http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20111220_1.pdf>. (BRASIL; 2011 – a)

potencial energético dos RSU gerados em Salvador, por ser mais atual e se aproximar mais da realidade do mercado de energia nacional. A este preço, o montante de energia potencialmente gerada a partir dos RSU de Salvador chega-se a um valor estimado de **R$ 45.222.805,00** como pode ser visualizado na Tabela 4.

Tabela 4 - Valoração da energia potencial dos RSUs gerados em Salvador

Total de RSU anual (-) rejeitos (em toneladas)	MWh/ tonelada	Total MWh ano	Preço por MWh (R$)	Total valor de venda da energia gerada (R$)
681.140	0,65	442.741,00	102,18	45.239.275,38

Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Minas Gerais (2012), Salvador (2012 - b); Climate Works (2012) e Brasil (2009-a).

A partir da matriz de 49 setores elaborada pelo método RAS descrito na seção anterior, foram simuladas as mudanças tecnológicas potenciais na estrutura produtiva desta carga extra de energia proporcionada pela reciclagem energética por incineração dos RSU de Salvador gerados no ano de 2010. O setor impactado diretamente é o de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (401), 38º setor da matriz utilizada.

5.6.2 Valoração dos RSUs para reciclagem mecânica

A valoração dos RSU como matéria-prima secundaria depende do preço de mercado dos materiais recicláveis e da quantidade de materiais passiveis de reciclagem mecânica no montante de RSU gerado, em determinado local e período. Para o calculo da quantidade de materiais recicláveis presentes no RSU de Salvador, considerou-se duas etapas: Primeiro foram separados os materiais que apresentam suas respectivas cadeias de comercialização e produção já consolidadas no mercado. Do total de RSU gerado, foram valorados os metais ferrosos e não ferrosos - basicamente alumínio, plásticos e seus subtipos “duro” e “mole”, papéis banco e papelão. Estas são as classificações mais próximas das usadas pelos agentes para estabelecerem as negociações de compra e venda neste mercado, e refletem a forma com a indústria utiliza os diversos tipos de materiais recicláveis.

Este cálculo se baseia na analise gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos produzidos em Salvador, no ano de 2009[52]. Em seguida é feita a valoração dos resíduos de acordo com o seu

[52] Parâmetros retirados de Prefeitura Municipal de Salvador (2012).

preço de mercado. Na rota de reciclagem mecânica, o valor de mercado dos resíduos é o preço do material por quilo. Assim, como exemplo, o valor do plástico no RSU do município de Salvador pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$\begin{aligned} Valor = \; & Total\ de\ RSU\ gerado\ em\ um\ ano\ (em\ toneladas) \\ & \times \%\ de\ plásticos\ presente\ no\ RSU \\ & \times \%\ de\ plástico\ reciclável \\ & \times\ Preço\ de\ mercado\ do\ plástico\ reciclável\ (em\ R\$) \end{aligned} \tag{5.34}$$

Alguns materiais ficaram de fora do calculo, tais como: madeira, borracha, embalagens longa vida (*Tetra Pack*), vidro e matéria orgânica. Estes materiais possuem valor de venda e há tecnologia experimental para reciclá-los, mas o mercado ainda não está suficientemente desenvolvido. Isto é, existem poucas unidades recicladoras, principalmente no estado da Bahia. Dada essa peculiaridade, optou-se por não incluí-los no calculo devido à dificuldade de identificação, no sistema de contas nacionais, da cadeia produtiva à qual eles pertencem.

O preço do material reciclável depende de vários fatores, entre eles os principais são: a localização geográfica do centro gerador até a respectiva indústria recicladora; da qualidade do material, bem como da quantidade negociada, devido aos ganhos de escala logísticos, da regularidade com que um fornecedor pode garantir o material à indústria, do preço da matéria prima virgem e, da posição do agente vendedor comprador ao longo da cadeia de comercialização. O preço pago pela indústria é o preço máximo obtido pelo material reciclável antes de entrar no processo industrial de transformação. (OLIVEIRA FILHO, 2005; 2009; DELMONT, 2007).

O relatório Grupo de Estudos de Relações Intersetoriais (2009) utilizado por Ribeiro *et al* (2011), divulgou uma pesquisa feita em cooperativas e atravessadores da Região Metropolitana do Rio de Janeiro. Nesta pesquisa, encontra-se referencia sobre a diferença entre o valor recebido pelas cooperativas, que geralmente vendiam seus produtos aos intermediários de diversos tamanhos e o valor recebido pelos maiores intermediários mais proeminentes. Estes últimos seriam os preços máximos de comercialização, pagos pela indústria recicladora ou transformadora pelo material reciclável. A conclusão do autor é que as cooperativas recebiam cerca de metade do preço pago pela indústria recicladora, sendo esta

diferença apropriada pelos intermediários.

Para avaliar o impacto da reciclagem na cadeia produtiva, a prática ideal é a valoração do material reciclável aos preços praticados pela indústria transformadora que demanda o insumo reciclado. Nesta dissertação, os materiais recicláveis foram valorados de acordo com os preços praticados pelas cooperativas de São Paulo. Esta opção metodológica foi adotada, pois não há dados que permitam inferir sobre preço pago pela indústria recicladora em Salvador. As indústrias recicladoras estão espacialmente mais concentradas nas regiões Sul e Sudeste do país (DELMONT, 2007). Por este motivo, os preços fornecidos pelo Centro Empresarial para Reciclagem praticados pelas cooperativas e associações de catadores do estado de São Paulo são uma boa *proxy* do preço pago pela indústria que demanda a matéria prima reciclável (OLIVEIRA FILHO, 2008; RIBEIRO, 2010).

Tabela 5 - Preços materiais recicláveis - 2010, São Paulo.

	Preços por tonelada (em R$ 1,00)			
Componente	Janeiro / fevereiro	Maio / junho	Novembro / Dezembro	Média anual
Plástico Duro	600	800	800	733
Plástico Mole	650	1.000	800	817
Papel Branco	530	530	530	530
Papelão	230	380	450	353
Metais Ferrosos	300	370	400	357
Metais Não Ferrosos	2.300	2.300	2.200	2.267

Fonte: Dados elaborados pelo autor, a partir de CEMPRE (2010).

O fato de que grande parte da indústria que utiliza matéria prima reciclável está localizada no estado de São Paulo leva a uma redução da participação nos intermediários na fatia de renda gerada na comercialização. Isto favorece os ganhos das cooperativas, que obtêm preços de venda maiores. Foi feita uma média aritmética de preços de três períodos no ano, a fim de reduzir a sazonalidade de curto prazo (dentro de um ano), característica deste mercado. Além da sazonalidade, a utilização de preços médios ajuda a reduzir a influencia da volatilidade dos preços internacionais das commodities sobre os preços dos recicláveis. Os períodos considerados foram: janeiro / fevereiro; maio e junho e; novembro e dezembro de 2010 (Tabela 5).

O calculo da mudança tecnológica na estrutura de insumos decorrente da adoção desta rota tecnológica teve como referencia o valor total de cerca de R$ 83,00 milhões em materiais

recicláveis. Este valor é proporcionado pela reintrodução dos materiais recicláveis na cadeia produtiva enquanto matéria prima secundaria, nos respectivos setores demandantes. Representa, ao mesmo tempo, a receita da cooperativa pela venda de recicláveis e o custo de aquisição pela indústria. A distribuição dos materiais, do ponto de vista dos setores demandantes de materiais recicláveis é mostrada na **Tabela 6**. Utilizou-se, para esta alocação a Classificação Nacional de Atividades (CNAE) versão 2.0, bem como, o código utilizado pelo Sistema de Contas Nacionais (código SCN). Os parâmetros de calculo da mensuração dos materiais recicláveis passiveis de reciclagem mecânica estão no capitulo 2, Tabela 1.

Tabela 6 - Distribuição setorial dos materiais recicláveis.

Material	Cod SCN	CNAE 2.0 (Divisão e	Descrição	Setor da matriz
Plástico	318	222	Fabricação de artigos de borracha e plástico	22
Papel	307	171	Fabricação de celulose e produtos de papel	11
Metais Ferrosos	323	259	Fabricação de produtos de metal	27
Metais Não Ferrosos	322	244	Metalurgia de metais não ferrosos	26

Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Freitas (2007); Freitas e Oliveira Filho (2009) e Ribeiro (2010).

No presente estudo, a compostagem não foi incluída na rota de reciclagem mecânica, pois a cadeia produtiva da compostagem é ainda incipiente no estado da Bahia. Desta forma, pode-se inferir que o potencial econômico da rota tecnológica da reciclagem mecânica delimitada neste estudo será subestimado, haja vista a não inclusão da atividade de compostagem de resíduos orgânicos.

5.7 O MÉTODO DA COMPARAÇÃO ENTRE MATRIZES Q QUADRADAS: A REDUÇÃO NA OFERTA DE MATÉRIA PRIMA VIRGEM

O método geralmente descrito na literatura para estimar a economia de recursos ao longo da cadeia produtiva advinda da reciclagem de RSU é formulado na perspectiva dos setores demandantes do material reciclável. Estes setores deixam de demandar matéria prima virgem, no mesmo montante em que utilizam a matéria prima reciclada. Alternativamente, é possível mensurar a economia de recursos naturais pela perspectiva dos setores ofertantes de matérias primas virgens, que tem sua demanda reduzida, em função das substituições por matérias primas recicladas. Como resultado, o que se propõe neste trabalho é produzir uma alternativa metodológica que torne possível verificar o montante de recursos efetivamente economizados com a introdução da matéria prima reciclada em substituição da matéria prima virgem.

Pelo lado da oferta, a interpretação do mecanismo de economia de recursos naturais obtida com a reciclagem considera que a matéria prima reciclável concorre com a matéria prima virgem. A introdução de uma determinada quantidade (em valores monetários) de matéria prima reciclável na cadeia produtiva, provoca uma redução em igual proporção na oferta (Valor Bruto da Produção -VBP) do setor ofertante de matéria prima virgem. Ao se subtrair o valor de dessa quantidade de matéria - prima reciclável do VBP do setor ofertante, é possível verificar a economia de recursos através da diferença entre as matrizes Q quadradas (matriz tecnológica A em valores monetários). O método alternativo tem a vantagem de mostrar de forma mais direta, o montante de recursos poupados na economia. De forma sucinta, esse método de mensurar a economia de recursos naturais causada pela reciclagem, na ótica da oferta de matéria prima virgem é descrito abaixo. Tomando o exemplo do grupo de materiais plásticos reciclados, é possível descrever este método em seis etapas.

i. Calcula-se o valor do material reciclável (ex: Plástico reciclável no valor de R$ 51 milhões de reais ao ano).

ii. Localiza-se o setor ofertante da matéria prima virgem. No caso do plástico virgem que concorre diretamente com o plástico reciclado, o setor ofertante é Fabricação de resinas e elastanos.

iii. Subtrai-se o valor da meteria prima reciclada do VBP do setor ofertante de matéria prima virgem. No caso, será subtraído 51 milhões de reais do VBP do setor de Fabricação de resinas e elastanos, que passa de 2,279 milhões para 2,227 milhões.

iv. Dado que o VBP = (Consumo Intermediário + Valor Agregado), distribui-se os 51 milhões entre CI e VA do setor ofertante de matéria prima virgem, na proporção em que eles se dividem no setor.

v. Com os novos vetores VBP, CI e VA, é gerada uma nova matriz Q quadrada pelo método RAS, que necessariamente terá alguns elementos iguais ou menores que a os elementos da matriz Q quadrada original[53].

[53] Pelo 3º teorema de Perron - Frobenius, $\alpha = f\ (A_{ij})$, Isto significa que autovalor dominante da matriz A é uma função contínua crescente de todos os elementos da matriz A. Ver Pasinetti (1977); Damásio (2008).

vi. Subtrai-se da matriz Q quadrada original, a nova matriz Q quadrada gerada com a redução do VBP, CI e VA do setor ofertante de matéria-prima reciclada. O resultado será uma matriz cujas células expressa a diferença entre Q quadradas. Esta diferença deverá refletir o montante de recursos poupados, em termos monetários, dado o consumo de matéria prima reciclada em detrimento da matéria prima virgem.

Devido à linearidade dos coeficientes da matriz Q quadrada, espera-se da matriz de diferença, que a soma das suas linhas ao longo dos vetores-coluna (no setor que sofre alteração) seja igual ao valor do Consumo Intermediário reduzido do referido setor. Quanto à soma das colunas ao longo das linhas, esta representa ao montante reduzido do Produto Intermediário dos setores afetados com a redução do VBP.

A redução no VBP, CI e VA dos setores ofertantes de matéria prima virgem representaria uma mudança na estrutura de insumos da economia. Isto ocorre pois há uma mudança tecnológica no processo de fabricação de produtos que misturam matéria prima virgem e reciclada. A redução da utilização de matéria prima virgem, no montante em que é substituída pela matéria-prima reciclada altera toda a dinâmica econômica ao longo da cadeia produtiva. Esta é a principal justificativa da adoção deste método de analise, como complementar a analise pelo lado da demanda.

O principal problema deste método é lidar com a agregação dos setores. Neste caso especifico, foram observados dois setores que trazem este problema. Cada um destes agrega ofertantes e demandantes de um determinado produto e matéria- prima. Na rota de reciclagem mecânica, se enquadra nesta descrição o setor de papel, onde o ofertante de matéria prima virgem – celulose, está agregado com o demandante – fabricante de produtos de papel. Na rota de reciclagem energética, o setor que gera energia elétrica, que é, portanto, ofertante de energia por meio das termoelétricas movidas à RSU, está agregado com setor que distribui e transmite a energia gerada, isto é, que demandam energia do setor gerador.

5.8 CONTRIBUIÇÕES DA PRESENTE METODOLOGIA À LITERATURA

A metodologia apresentada neste capitulo pressupõe alguns avanços em relação aos estudos anteriores, apresentados na revisão da literatura, no capitulo 3. A comparação entre as conseqüências tecnológicas e econômicas sobre a estrutura de insumos decorrente de duas

rotas tecnológicas de gestão de RSU distintas e mutuamente excludentes, a saber: reciclagem energética (incineração) e a reciclagem mecânica. Os trabalhos anteriores utilizaram o modelo de choque de demanda sobre os setores recicladores e não fizeram a comparação entre rotas tecnológicas excludentes, limitando-se ao calculo dos impactos econômicos da reciclagem mecânica sobre a cadeia produtiva.

A matriz de Relações Intersetoriais utilizada nesta dissertação tem abertura de 49 setores. Esta dimensão é, portanto, mais desagregada do que as MRI estaduais utilizadas nos trabalhos anteriores. Em relação ao perfil das MRI encontradas nos trabalhos de referencia, Freitas (2007) calcula os impactos da reciclagem sobre a MRI do estado da Bahia do ano de 2003 com 24 setores, enquanto Ribeiro (2010) utiliza a MRI do estado do Rio de Janeiro do ano de 2006 com 38 setores. Por fim, Delmont utiliza uma MRI desagregada em 55 setores, porém, se trata da MRI Brasil do ano de 2004.

O estudo de caso se refere ao município de Salvador, considerando a quantidade e gravimetria dos resíduos gerados no ano de 2010. Freitas (2007) estima o potencial de reciclagem mecânica para os RSU gerados no estado da Bahia em 2003 e Ribeiro (2010) utiliza os RSU coletados por 33 cooperativas da Região Metropolitana do Rio de Janeiro no ano de 2007. Delmont (2007) limita-se às analises de sensibilidade dos setores recicladores, através dos seus coeficientes de encadeamento da MRI Brasil.

6 COMPARAÇÃO ENTRE IMPACTOS ECONOMICOS DAS ROTAS TECNOLOGICAS DE RECICLAGEM EM SALVADOR

Este capitulo apresenta os resultados da simulação do uso de materiais recicláveis como insumos na cadeia produtiva do estado da Bahia. O modelo de Insumo-Produto foi utilizado para produzir resultados para as duas rotas tecnológicas de reciclagem discutidas nesta dissertação, quais sejam reciclagem mecânica e reciclagem energética. A metodologia de construção deste modelo foi apresentada na seção 5.7 do capitulo anterior.

O capitulo se iniciará com a apresentação dos indicadores de encadeamento dos setores – Coeficientes de Rasmussen - Hirschman de ligação. Estes indicadores permitirão entender o grau de inter-relação entre os setores da economia e ajudarão na interpretação dos resultados obtidos pelo modelo proposto. A análise pelo lado da demanda é uma metodologia já testada na literatura[54]. Esta metodologia reflete a variação no VBP dos diversos setores, em resposta a uma variação na demanda final de um setor especifico. Neste caso, a variação da demanda final será dos setores que insumem materiais recicláveis ou para a produção de matérias - primas recicláveis ou para a produção de energia elétrica. Posteriormente, serão apresentados os resultados calculados pela analise do lado da oferta. Esta ótica exprime a redução do Valor Bruto da Produção do setor ofertante de matéria prima virgem e de energia de diversas fontes[55], ocasionada pela entrada dos materiais recicláveis na cadeia produtiva. Uma análise dos resultados sob as duas óticas (demanda e oferta) será realizada ao final do capitulo.

6.1 ANÁLISE DOS INDICADORES DE ENCADEAMENTO DA MRI BAHIA 2009

A primeira analise sobre a Matriz de Relações Intersetoriais da Bahia diz respeito aos indicadores de sensibilidade, também conhecidos como indicadores de encadeamento dos setores. Os indicadores de encadeamento ou ligação mostram a magnitude dos impactos totais, por setor da cadeia produtiva, dada uma variação na demanda final do setor *j*. Estes indicadores têm desdobramentos à montante ou para trás (indicados pelo sobrescrito *oj*) e à jusante (indicados pelo sobrescrito *io*). O encadeamento a montante mostra a variação de Consumo Intermediário do setor *j*. Os setores fornecedores de insumos para o setor *j* são

[54] Ver em Freitas, (2007); Freitas e Oliveira (2009) e Ribeiro (2010)

[55] Considera-se que a energia gerada pela queima de RSU entra na matriz como substituto perfeito da energia elétrica provenientes de outras fontes.

impactados à montante. O indicador de encadeamento à jusante mostra os impactos na Produção Intermediaria do setor *j*. Os setores impactados, neste caso, são os setores que insumem os produtos do setor *j*. Nestas pesquisa, será usado o indicador de encadeamento ou ligação desenvolvido por Rasmussen – Hirschman (RASMUSSEN, 1956; AQUINO, 2004; PEREIRA, 2007; RIBEIRO, 2010).

Tabela 7 - Coeficientes Rasmussen - Hirschman de ligação setorial

			Ligação			
Nº do setor	**Codigo SCN**	**49 setores - Descrição**	**Montante (Uoj)**	**Ranking montante**	**Jusante (Uio)**	**Ranking jusante**
S1	101	Agricultura, silvicultura, exploração florestal	0,7690	42	1,7882	7
S2	102	Pecuária e pesca	0,7540	43	0,7385	28
S3	201	Petróleo e gás natural	0,8694	34	1,7113	8
S4	**202 e 203**	**Outros da indústria extrativa**	**1,0900**	**21**	**1,4278**	**11**
S5	301	Alimentos e Bebidas	1,2069	10	1,3518	12
S6	302	Produtos do fumo	1,0282	26	0,4419	48
S7	303	Têxteis	1,1926	11	1,0590	16
S8	304	Artigos do vestuário e acessórios	1,0568	23	0,4445	47
S9	305	Artefatos de couro e calçados	1,0932	20	0,5465	35
S10	306	Produtos de madeira - exclusive móveis	0,9134	31	0,7579	27
S11	**307**	**Celulose e produtos de papel**	**0,9801**	**28**	**1,0152**	**18**
S12	308	Jornais, revistas, discos	0,8604	37	0,7170	29
S13	309	Refino de petróleo e coque	1,1908	12	2,5159	2
S14	310	Álcool	0,9884	27	0,6256	32
S15	311	Produtos químicos	1,2324	6	2,6345	1
S16	**312**	**Fabricação de resina e elastômeros**	**1,2814**	**3**	**1,0856**	**15**
S17	313	Produtos farmacêuticos	1,1357	16	0,5035	42
S18	314	Defensivos agrícolas	1,3082	2	0,8180	24
S19	315	Perfumaria, higiene e limpeza	1,1673	14	0,5266	38
S20	316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	1,2256	7	0,5160	40
S21	317	Produtos e preparados químicos diversos	1,2145	8	0,8597	23
S22	318	Artigos de borracha e plástico	1,2093	9	1,2008	14
S23	319	Cimento	1,0404	24	0,5457	36
S24	320	Outros produtos de minerais não-metálicos	1,0283	25	0,7721	26
S25	321	Fabricação de aço e derivados	1,1150	17	1,4791	10
S26	322	Metalurgia de metais não-ferrosos	0,8039	39	1,0015	19
S27	323	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	0,9322	29	1,2438	13
S28	324	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	0,8216	38	1,0182	17
S29	325	Eletrodomésticos	1,1529	15	0,4355	49
S30	326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	1,2630	5	0,4816	44
S31	327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	1,0884	22	0,9881	20
S32	328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	1,1134	18	0,9491	22
S33	329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	0,8006	40	0,4988	43
S34	330 e 0331	Automóveis, camionetas e utilitários	1,3783	1	0,4665	45
S35	332	Peças e acessórios para veículos automotores	1,1687	13	0,9836	21
S36	333	Outros equipamentos de transporte	1,2736	4	0,6613	31
S37	334	Móveis e produtos das indústrias diversas	1,1028	19	0,5146	41
S38	**401**	**Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana**	**0,8698**	**33**	**2,0116**	**4**
S39	501	Construção civil	0,8656	36	0,5775	33
S40	601 e 1101	Comércio e Manutenção e reparação	0,6734	47	0,7165	30
S41	701	Transporte, armazenagem e correio	0,9250	30	1,8060	6
S42	801	Serviços de informação	0,8664	35	1,6139	9
S43	901	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços	0,6812	46	2,1999	3
S44	1001	Atividades imobiliárias e aluguéis	0,4849	49	0,8155	25
S45	1102	Serviços de alojamento e alimentação	0,9121	32	0,5439	37
S46	1103	Serviços prestados às empresas	0,6538	48	1,8582	5
S47	1104 e 1105	Educação e Saúde mercantil	0,7934	41	0,4588	46
S48	1106 e 1107	Serviços prestados às famílias e associativas e serviços domésticos	0,7350	44	0,5468	34
S49	201, 1202 e 1203	Administração Saúde e Educação Públicas e seguridade social	0,6886	45	0,5262	39

Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Os coeficientes de Rasmussen - Hirschman de ligação da MRI Bahia 2009 são apresentados na Tabela 7. Estes coeficientes mostram a relação entre os coeficientes simples de cada setor individual e a média dos coeficientes dos setores. A analise do coeficiente setorial é feita em relação ao valor 1 (hum). Quanto mais acima de 1 for o coeficiente, maior deverá ser o poder de ligação do setor. Inversamente, quanto mais abaixo de 1 for o coeficiente do setor, menor será o seu poder de encadeamento com os demais setores da economia.

Os setores, cuja variação na demanda final, geram os maiores impactos a montante são: - Automóveis camionetas e utilitários (330+331); Defensivos agrícolas (314) e Fabricação de resina e elastômeros (312). Entre os setores recicladores, aquele que apresenta maior potencial de impacto a montante é o setor de 'Artigos de borracha e plástico', que aparece com o nono maior índice em encadeamento para trás e tem o seu coeficiente maior que hum. Os outros três setores recicladores apresentaram índice de ligação menor do que 1 (hum). Isto indica que estes setores não podem ser considerados como setores-chave da economia em questão. O setor reciclador com menor potencial de encadeamento para trás foi 'Metalurgia de metais não ferrosos', 39ª posição.

Quanto aos impactos à jusante, todos os setores recicladores possuem alto poder de ligação, apresentando coeficientes acima de 1 (hum). O setor de Produtos de Metal - exclusive máquinas e equipamentos apresentou o maior encadeamento para frente, entre os setores recicladores, com o 13º maior índice de ligação para frente no estado da Bahia. O setor Metalurgia de metais não ferrosos apresentou o menor poder de encadeamento entre os setores recicladores, aparece na 19ª posição no ranking.

6.2 RESULTADO DAS SIMULAÇÕES DE MUDANÇA TECNOLÓGICA NA ESTRUTURA DE INSUMOS

A redução na depleção dos recursos naturais pode ser visualizada na ótica da oferta. Através da redução no VBP, e proporcionalmente, do CI e VA dos setores ofertantes de matéria prima virgem, calcula-se o montante de recursos econômicos economizados em função da reciclagem de materiais. Utiliza-se o pressuposto de que os materiais recicláveis são insumidos pela indústria de transformação na mesma medida em que o este consumo provoca a redução da demanda pela matéria prima virgem.

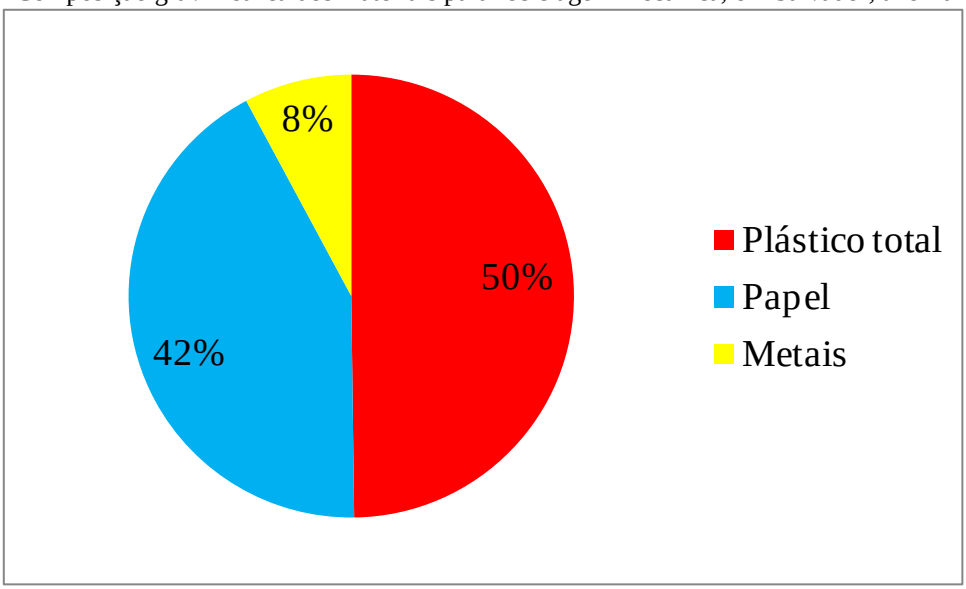
Deste pressuposto, decorre o pressuposto central desta analise: A Mudança tecnológica ou mudança na estrutura de insumos. A mudança de se dá pela substituição de insumos virgens por recicláveis, e conseqüente redução da depleção de recursos naturais, o que impactaria em toda a estrutura tecnológica da cadeia produtiva do estado da Bahia. Por isto, a simulação da redução do VBP feita aqui deverá atingir diretamente apenas a indústria ofertante de matéria prima virgem, a fim de verificar a redução no consumo intermediário deste setor e a conseqüente redução da demanda por recursos naturais. O resultado é uma nova matriz de relações intersetoriais mais limpa, devido à economia de energia e recursos naturais primários que a reciclagem proporcionada pela reciclagem, Esta seria uma evidencia de **mudança tecnológica na estrutura produtiva**, processo que se deseja simular com este experimento.

Os resultados da simulação da redução do VBP descritos a seguir serão dados em termos de redução do CI do setor "*j*" ofertante de matéria prima virgem. O CI de um setor é composto pelos insumos fornecidos pelos outros setores "*i*". Para cada unidade de produto produzido pelo setor "*j*", ele usa insumos "*i*" em proporções fixas. São os coeficientes técnicos de produção do setor "*j*", que não variam com a escala de produção deste setor. Cada setor fornecedor "*i*" participa com um determinado percentual no CI do setor "*j*". Quando há uma redução no CI deste setor, devido à redução na sua produção, todos os setores da cadeia de fornecedores têm que reduzir a quantidade de insumos fornecidos para aquele setor "*j*". Sendo assim, os resultados expressam, em termos percentuais, o quanto cada setor reduziu a sua participação no CI total do setor "*j*", como resposta a redução na produção deste setor.

6.2.1 Reciclagem mecânica

Na reciclagem mecânica, o valor global dos materiais recicláveis é de R$ 83,093 milhões de reais,. Este é o valor da redução do Valor Bruto da Produção (VBP) dos setores produtores de matéria prima virgem. Representa um ajuste na produção destes setores em função da entrada da matéria- prima reciclável na cadeia produtiva. O objetivo é simular um efeito substituição linear entre insumos virgens e recicláveis, não considerando questões sobre o preço relativo dos insumos.

Gráfico 12 - Composição gravimétrica dos materiais para reciclagem mecânica, em Salvador, ano 2010.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013. Adaptado de CEMPRE (2010), PREFEITURA MUNICIPAL DE SALVADOR (2012)

O Gráfico **12** mostra a composição do total de materiais recicláveis mecanicamente no município de Salvador. Das 128.684 toneladas de materiais passiveis de reciclagem mecânica, 61,6% é composta de plásticos, 29,9% de papeis e papelões e apenas 8,5% do material efetivamente reciclável é composta de metais ferrosos e não ferrosos. Desta forma percebe-se a importância do desenvolvimento da cadeia produtiva de reciclagem do plástico e do papel para viabilizar a rota de reciclagem mecânica no município de Salvador.

A redução no VBP dos setores produtores de insumos virgens leva a uma redução proporcional do Consumo Intermediário (CI) e do Valor Agregado (VA). Os resultados podem ser vistos na

Tabela **8.** A 'Proporção Reciclável / VBP' mostra quanto o valor do material reciclável, global e por setor, representa no VBP global, e no VBP dos setores produtores de insumos virgens, respectivamente. O valor global dos recicláveis do município de Salvador representou 0,04% do VBP global do estado da Bahia no ano de 2009. O setor que irá ter maior redução do VBP é o setor de Fabricação de resinas e elastômeros (S16), que reduzirá o valor da sua oferta em 2,24%, em função da entrada de plásticos recicláveis na cadeia produtiva. No outro extremo, o setor que terá a menor redução do VBP (0,39%) é o setor de 'Outras da indústria extrativa" que representa a oferta de metais virgens na economia do estado da Bahia.

Tabela 8 - Resultados da redução do VBP CI e VA da reciclagem mecânica.

Nº do setor*	Proporção Reciclável / VBP original	Proporção CI / VBP	Proporção VA / VBP	Valor VBP descontado	Valor CI descontado	Valor do VA descontado	VBP * novo	CI * novo	VA * novo
S1		32%	68%				10.363,19	3.296,83	7.066,37
S2		32%	68%				3.376,47	1.068,30	2.308,17
S3		56%	44%				1.681,51	945,09	736,42
S4	**0,39%**	**69%**	**31%**	**7,09**	**4,91**	**2,17**	**1.796,68**	**1.245,37**	**551,31**
S5		85%	15%				8.879,41	7.588,56	1.290,85
S6		73%	27%				78,47	57,44	21,03
S7		75%	25%				813,59	611,84	201,75
S8		57%	43%				851,23	488,76	362,47
S9		62%	38%				1.705,88	1.065,98	639,90
S10		55%	45%				156,07	86,09	69,99
S11	**0,73%**	**60%**	**40%**	**24,85**	**14,90**	**9,95**	**3.361,04**	**2.015,73**	**1.345,31**
S12		47%	53%				143,86	68,09	75,77
S13		80%	20%				19.688,71	15.839,80	3.848,91
S14		70%	30%				71,41	49,92	21,49
S15		77%	23%				12.871,88	9.866,39	3.005,50
S16	**2,24%**	**77%**	**23%**	**51,16**	**39,58**	**11,57**	**2.227,90**	**1.723,92**	**503,98**
S17		74%	26%				43,90	32,60	11,30
S18		81%	19%				971,00	786,68	184,32
S19		71%	29%				238,41	169,51	68,89
S20		74%	26%				37,40	27,66	9,74
S21		75%	25%				190,25	142,06	48,20
S22		71%	29%				3.705,37	2.636,69	1.068,68
S23		64%	36%				189,67	122,09	67,58
S24		61%	39%				820,06	502,74	317,32
S25		70%	30%				1.455,83	1.024,64	431,19
S26		40%	60%				5.130,75	2.053,23	3.077,52
S27		52%	48%				1.048,62	543,74	504,87
S28		42%	58%				764,24	320,58	443,66
S29		74%	26%				407,56	302,35	105,21
S30		80%	20%				1.942,95	1.558,56	384,39
S31		68%	32%				634,27	431,50	202,78
S32		69%	31%				260,60	181,08	79,53
S33		41%	59%				60,83	24,83	36,00
S34		90%	10%				5.310,28	4.793,61	516,67
S35		70%	30%				1.554,21	1.092,51	461,70
S36		77%	23%				14,22	10,94	3,28
S37		67%	33%				611,25	411,89	199,35
S38		51%	49%				9.744,43	4.973,65	4.770,78
S39		44%	56%				16.422,44	7.293,06	9.129,38
S40		30%	70%				24.119,57	7.304,59	16.814,98
S41		51%	49%				11.713,33	5.942,87	5.770,46
S42		55%	45%				5.639,31	3.091,67	2.547,65
S43		35%	65%				7.528,42	2.636,01	4.892,40
S44		9%	91%				10.918,43	929,84	9.988,59
S45		44%	56%				6.750,39	2.956,44	3.793,96
S46		28%	72%				6.758,21	1.877,26	4.880,95
S47		42%	58%				6.191,01	2.599,38	3.591,63
S48		35%	65%				6.756,55	2.335,29	4.421,27
S49		33%	67%				30.469,25	9.949,95	20.519,30
Total	**0,04%**	**49%**	**51%**	**83,09**	**59,40**	**23,69**	**236.470,33**	**115.077,57**	**121.392,75**

Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Os novos valores de VBP, CI e VA encontrados são utilizados para gerar uma nova matriz Q quadrada, que é a matriz tecnológica A em valores monetários, pelo método RAS. A diferença entre a matriz Q quadrada original e a nova matriz Q quadrada mostra a mudança tecnológica derivada da reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU). Os vetores- orlas[56] da matriz de diferença expressam a diferença no CI (vetor-linha) e a diferença no PI (vetor-coluna). Os resultados serão apresentados por grupo de material para que os efeitos da

[56] Denominam-se vetores - orlas de uma matriz a soma dos seus elementos tal que: o vetor-orla linha (soma das linhas ao longo das colunas de uma matriz) e vetor-orla coluna, soma das colunas ao longo das linhas de uma matriz).

reciclagem de cada material sejam mais bem compreendidos.

Tabela 9 - Valor da diferença do CI por setor

Nº do setor	Cod SCN	Setor	Total CI poupado (em R$ 1.000,00)	Total CI poupado %
S1	101	Agricultura, silvicultura, exploração florestal	3,52	6%
S2	102	Pecuária e pesca	0,09	0%
S3	201	Petróleo e gás natural	0,00	0%
S4	**202 e 0203**	**Outros da indústria extrativa**	1,19	2%
S5	301	Alimentos e Bebidas	0,29	0%
S6	302	Produtos do fumo	0,00	0%
S7	303	Têxteis	0,34	1%
S8	304	Artigos do vestuário e acessórios	0,00	0%
S9	305	Artefatos de couro e calçados	0,02	0%
S10	306	Produtos de madeira - exclusive móveis	0,21	0%
S11	**307**	**Celulose e produtos de papel**	4,55	8%
S12	308	Jornais, revistas, discos	0,19	0%
S13	309	Refino de petróleo e coque	2,39	4%
S14	310	Álcool	0,04	0%
S15	311	Produtos químicos	23,28	39%
S16	**312**	**Fabricação de resina e elastômeros**	2,39	4%
S17	313	Produtos farmacêuticos	0,05	0%
S18	314	Defensivos agrícolas	0,62	1%
S19	315	Perfumaria, higiene e limpeza	0,06	0%
S20	316	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,27	0%
S21	317	Produtos e preparados químicos diversos	2,39	4%
S22	318	Artigos de borracha e plástico	0,91	2%
S23	319	Cimento	0,01	0%
S24	320	Outros produtos de minerais não-metálicos	0,10	0%
S25	321	Fabricação de aço e derivados	0,04	0%
S26	322	Metalurgia de metais não-ferrosos	0,20	0%
S27	323	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	0,91	2%
S28	324	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	1,43	2%
S29	325	Eletrodomésticos	0,00	0%
S30	326	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	0,07	0%
S31	327	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,07	0%
S32	328	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	0,04	0%
S33	329	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	0,01	0%
S34	330 e 0331	Automóveis, camionetas e utilitários	0,00	0%
S35	332	Peças e acessórios para veículos automotores	0,04	0%
S36	333	Outros equipamentos de transporte	0,01	0%
S37	334	Móveis e produtos das indústrias diversas	0,08	0%
S38	401	Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana	4,61	8%
S39	501	Construção civil	0,06	0%
S40	601 e 1101	Comércio e Manutenção e reparação	0,17	0%
S41	701	Transporte, armazenagem e correio	2,43	4%
S42	801	Serviços de informação	0,45	1%
S43	901	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados	4,22	7%
S44	1001	Atividades imobiliárias e aluguéis	0,24	0%
S45	1102	Serviços de alojamento e alimentação	0,15	0%
S46	1103	Serviços prestados às empresas	1,00	2%
S47	1104 e 1105	Educação e Saúde mercantil	0,02	0%
S48	1106 e 1107	Serviços prestados às famílias e associativas e serviços domésticos	0,05	0%
S49	201, 1202 e 1203	Administração Saúde e Educação Públicas e seguridade social	0,17	0%
		Total	**59,40**	**100%**

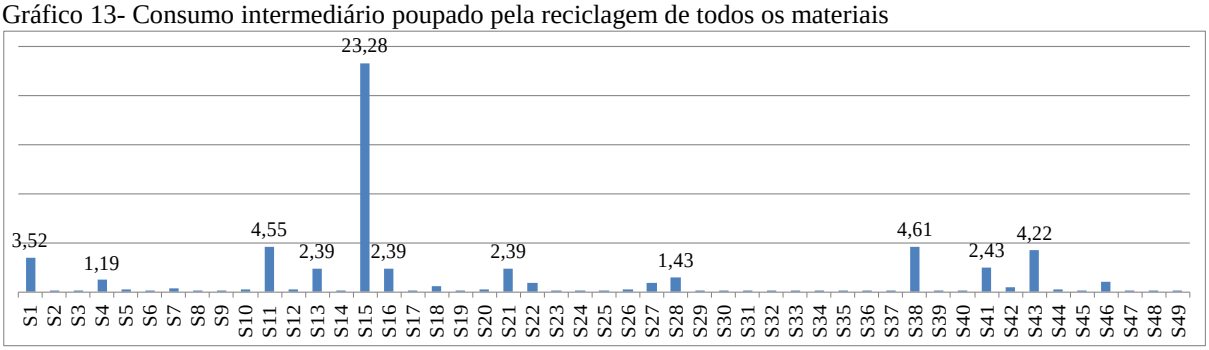
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

O valor da redução do CI, em função da redução do VBP em 83, 093 milhões, distribuídos nos três setores fornecedores de matéria-prima virgem foi de R$ 56,40 milhões ou 67,86% da

parcela deduzida do VBP, como pode ser observado na. Estes são os valores da diferença entre o CI com o VBP original e o CI com VBP reduzido.

O setor com maior diferença acumulada no CI foi Produtos químicos (S15). Isto significa que os produtos produzidos por este setor irão perder uma parcela relativamente maior de mercado com a mudança na estrutura tecnológica. Haverá uma redução de 23,28 milhões de reais no consumo de Produtos químicos na cadeia produtiva. Considerando que o Valor Adicionado (VA) do setor de produtos químicos é de R$ 3, 005 bilhões por ano, a redução do seu mercado no estado da Bahia não atinge 1% do valor do seu VA.

Gráfico 13- Consumo intermediário poupado pela reciclagem de todos os materiais



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

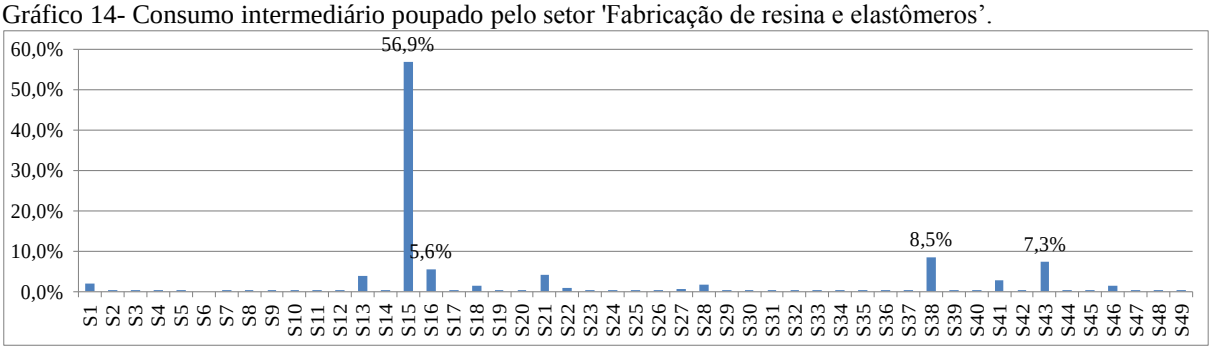
6.2.1.1 Plásticos

Os resultados da redução do VBP do setor de Fabricação de resinas e elastômeros (S16) sobre o seu CI, podem ser observados no Gráfico 14 a seguir. Neste setor, as proporções de CI e VA são de 77% e 23 %, respectivamente. Desta forma, o total de CI poupado foi de R$ 39,58 milhões. O total de CI poupado no setor Fabricação de resinas e elastômeros (S16) se distribui entre os setores que lhe fornecem insumos. Desta forma, os percentuais refletem a participação de cada setor fornecedor no CI do setor de Fabricação de resinas e elastômeros.

De maneira geral, as maiores reduções no CI se deram em relação aos insumos fornecidos pelos seguintes setores: Produtos químicos (S15), que equivale à 56,9% da redução do CI do setor de Fabricação de resinas e elastômeros (S16), uma queda no fornecimento de insumos no valor de R$ 22,5 milhões ao ano; Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (S38), com redução de 8,5%, o que equivale a decréscimo de R$ 3,4 milhões ao ano e Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados (S43), que reduziu o fornecimento de insumos ao setor de Fabricação de resinas

e elastômeros em R$ 2,9 milhões ao ano, valor que corresponde à 7,9% da redução de CI percebida por este setor. O próprio setor de Fabricação de resinas e elastômeros (S16) teve uma redução de 16% no consumo da sua própria produção, um valor de R$ 2,2 milhões ao ano. Esta mudança na estrutura produtiva do estado em decorrência da reciclagem de RSU implica certamente na manutenção de uma estrutura de produção que atende aos requisitos de Ecoeficiencia, principalmente no que tange a redução do consumo de recursos naturais e conservação energética.

Gráfico 14- Consumo intermediário poupado pelo setor 'Fabricação de resina e elastômeros'.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Com o resultado da redução do VBP do setor de Fabricação de resinas e elastômeros (S16), verificou-se que a redução maior se dá no setor de Produtos Químicos. A principal matéria prima deste setor é o petróleo e seus derivados, fornecidos pelo setor de Refino de Petróleo e Coque.

6.2.1.2 Papéis

A cadeia produtiva dos papéis é menos concentrada se comparada com a cadeia de plástico. Esta afirmação é feita com base nos percentuais de distribuição dos efeitos da redução do VBP sobre o CI mostrados no Gráfico 15. A distribuição entre CI e VA do VBP é de 60% e 40%, respectivamente. A reciclagem de papeis pós consumo no valor de mercado de R$ 24,848 milhões provocaria uma redução, em igual magnitude, no VBP do setor de Celulose e produtos de papel (S11), decorrente da redução da produção de celulose que é a matéria prima virgem para a produção de papel. Desta forma, o total de CI poupado pelo do setor de Celulose e produtos de papel é de R$ 14,90 milhões por ano.

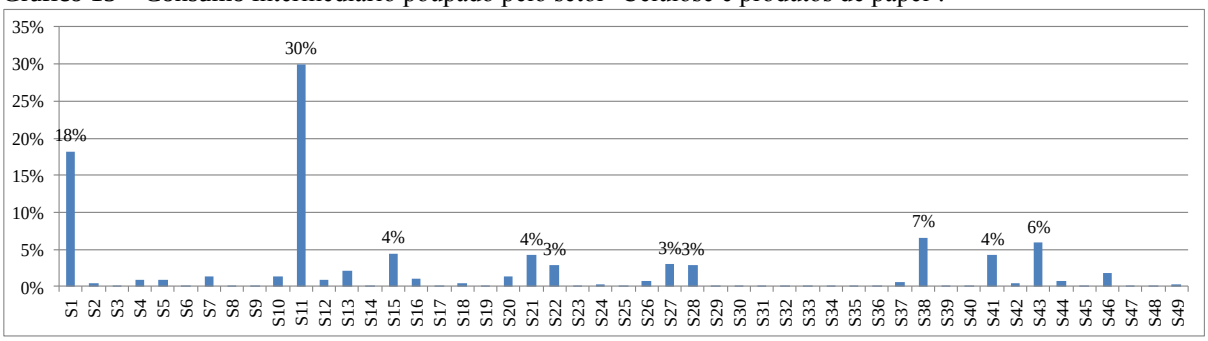
Os resultados mostraram que a reciclagem de papel levaria à redução de 30% no consumo de insumos fornecidos pelo próprio setor de Celulose e produtos de papel, equivalente à R$ 4,5

milhões ao ano. Essa proporção é especialmente alta neste setor, pois o mesmo agrega a indústria ofertante de celulose, matéria prima virgem do papel, e a indústria demandante de celulose, que é indústria de fabricação de produtos de papel. Neste caso, a simulação da redução do VBP não atingiria apenas o CI da indústria ofertante de matéria prima virgem. Esta separação seria necessária para demonstrar, sem viés, a redução da demanda por recursos naturais e a conseqüente mudança na estrutura produtiva dos setores envolvidos na cadeia do papel.

O segundo maior impacto da redução do CI se deu sobre o fornecimento de insumos do setor de Agricultura, silvicultura, exploração florestal (S1) ao setor de Celulose e produtos de papel. O setor S1 compreende a atividade de produção de eucaliptos, principal insumo na produção de celulose. É um dos setores da economia responsáveis diretamente pela extração de recursos naturais, neste caso, a madeira, seja de reflorestamento ou não. A redução de insumos fornecidos por este setor corresponde a 18% do CI poupado no setor de Celulose e produtos de papel, um valor de R$ 2,7 milhões ao ano. Se fosse considerado apenas o CI do setor de oferta de celulose, seria provável um peso maior do setor Agricultura, silvicultura, exploração florestal em relação ao CI poupado.

Os setores de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (S38) e Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados (S43) ficaram em terceiro e quarto lugar em termos de redução no fornecimento de insumos para o setor de Celulose e produtos de papel. Estes são setores básicos, pois possuem um alto encadeamento sobre outros setores, de acordo com os coeficientes de Rasmussen – Hirschman, visualizados Tabela 7, da seção 6.1.

Gráfico 15 – Consumo intermediário poupado pelo setor ‘Celulose e produtos de papel’.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

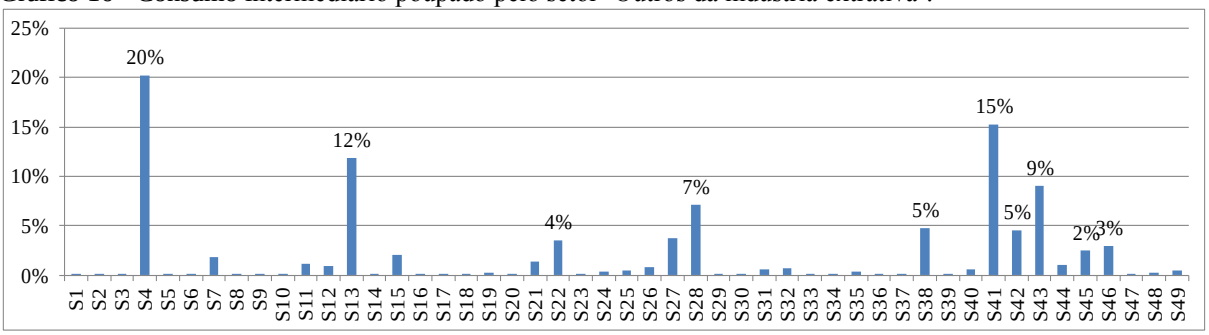
6.2.1.3 Metais

Quanto aos metais, o setor de Outros da indústria extrativa (S4) é o setor ofertante de metais virgens, tanto os ferrosos quanto os não - ferrosos. A redução do VBP deste setor foi de R$ 7,09 milhões. A divisão entre CI e VA, no VBP do setor, é de 69% e 31%, respectivamente. Desta forma, a redução do CI do setor foi de R$ 4,91 milhões.

O próprio setor Outros da indústria extrativa (S4) reduziria em 20% o consumo de produtos produzidos pelo seu próprio setor, um total de R$ 99 mil ao ano. O setor de Transporte, armazenagem e correio (S41) aparece como o segundo setor com maior redução do fornecimento de insumos para o setor S4. Do total de CI poupado do setor Outros da indústria extrativa, 15% ou R$ 75 mil é referente à redução do insumo fornecido pelo setor S41. Isto demonstra o peso da logística de carga na produção de metais virgens.

O setor de Outros da indústria extrativa é considerado energo-instensivo, especialmente no que se refere à produção de alumínio (TORRES, 2010). Em função disto, os setores fornecedores de energia têm um grande peso neste setor. Como conseqüência, os setores Refino de petróleo e coque (S13) e Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (S38) são responsáveis por 12% e 5% do CI deste setor, respectivamente.

Gráfico 16 - Consumo intermediário poupado pelo setor ‘Outros da indústria extrativa’.



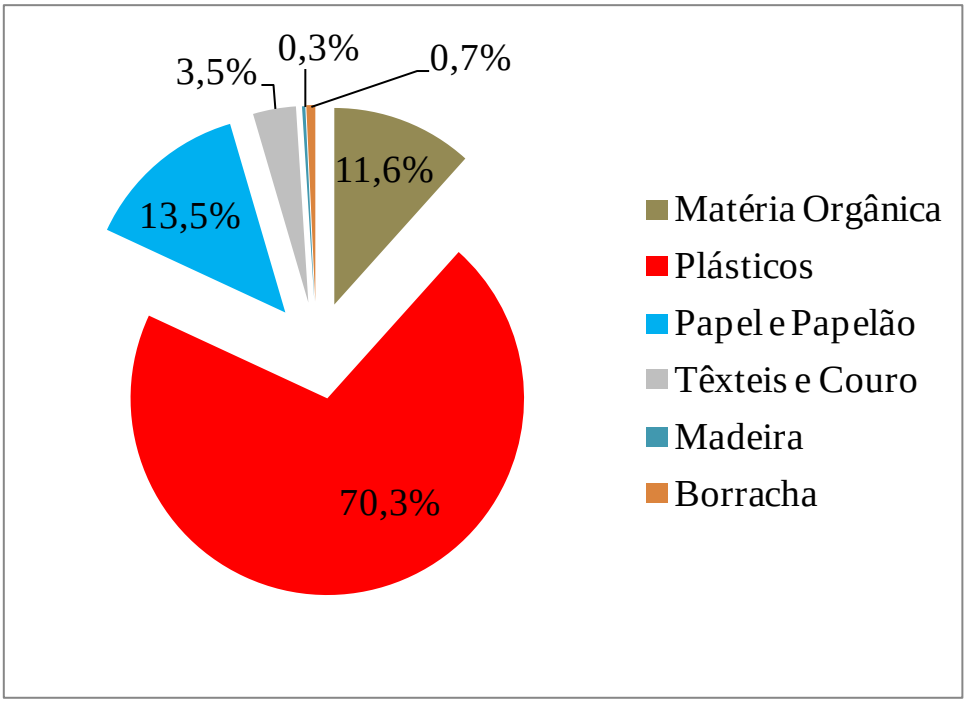
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

6.2.2 Reciclagem energética

A incineração para aproveitamento energético de 681.140 toneladas de RSU gerados anualmente, no município de Salvador, gera um total de 442.741 MWh de energia. Este montante equivale à 2% do consumo de energia elétrica do estado da Bahia, em 2013 (BAHIA, 2013). A um preço médio, pago pelas distribuidoras, de R$ 102,18 por MWh

gerado, a energia gerada com a incineração de RSU atinge um valor de, aproximadamente, R$ 45,223 milhões por ano[57]. A contribuição percentual de cada material para o poder calorífico total do de RSU do município de Salvador está discriminada no **Gráfico 17**. Os plásticos representam mais de 70% do PCI total de RSU. Em segundo lugar está o grupo de papel e papelão com 13,5%, seguido pela matéria orgânica, com participação de 11,6% no total. O grupo de têxteis e couro somam 3,5% do poder calorífico. Os dois grupos com menor contribuição são borracha e madeira, totalizam 1% do total. Dessa forma, é possível perceber a importância do plástico e do papel na reciclagem energética do município de Salvador.

Gráfico 17 – Participação do material no poder calórico para reciclagem energética, no município de Salvador, no ano de 2010



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Dada esta composição gravimétrica do RSU gerado no município de Salvador, o valor gerado pela reciclagem energética reduziria o VBP do setor Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana (S38) em R$ 45,22 milhões ao ano. A proporção entre CI e VA neste setor é de 51% e 49%, respectivamente. Desta forma, o total de CI poupado pela reciclagem energética é de R$ 23,14 milhões.

Este setor traz o mesmo problema de agregação verificado no setor relacionado à cadeia do papel. Ele agrega os setores fornecedores de insumo virgens, no caso, geradores de

[57] Considerando o preço de leilão de R$ 102,18 por MWh gerado em termoelétricas. Dados disponíveis no site da Eletrobrás.

eletricidade de variadas fontes energéticas, com os setores demandantes diretos de eletricidade gerada, que são os setores de transmissão e distribuição de energia.

Tabela 10 - Resultados da redução do Valor Bruto da Produção (VBP), Consumo Intermediário (CI) e Valor Adicionado (VA) da reciclagem energética.

Nº do setor*	Proporção Reciclável / VBP original	Proporção CI / VBP	Proporção VA / VBP	Valor VBP descontado	Valor CI descontado	Valor do VA descontado	VBP * novo	CI * novo	VA * novo
S1		32%	68%				10.363,19	3.296,83	7.066,37
S2		32%	68%				3.376,47	1.068,30	2.308,17
S3		56%	44%				1.681,51	945,09	736,42
S4		69%	31%				1.803,77	1.250,28	553,49
S5		85%	15%				8.879,41	7.588,56	1.290,85
S6		73%	27%				78,47	57,44	21,03
S7		75%	25%				813,59	611,84	201,75
S8		57%	43%				851,23	488,76	362,47
S9		62%	38%				1.705,88	1.065,98	639,90
S10		55%	45%				156,07	86,09	69,99
S11		60%	40%				3.385,89	2.030,63	1.355,26
S12		47%	53%				143,86	68,09	75,77
S13		80%	20%				19.688,71	15.839,80	3.848,91
S14		70%	30%				71,41	49,92	21,49
S15		77%	23%				12.871,88	9.866,39	3.005,50
S16		77%	23%				2.279,05	1.763,50	515,55
S17		74%	26%				43,90	32,60	11,30
S18		81%	19%				971,00	786,68	184,32
S19		71%	29%				238,41	169,51	68,89
S20		74%	26%				37,40	27,66	9,74
S21		75%	25%				190,25	142,06	48,20
S22		71%	29%				3.705,37	2.636,69	1.068,68
S23		64%	36%				189,67	122,09	67,58
S24		61%	39%				820,06	502,74	317,32
S25		70%	30%				1.455,83	1.024,64	431,19
S26		40%	60%				5.130,75	2.053,23	3.077,52
S27		52%	48%				1.048,62	543,74	504,87
S28		42%	58%				764,24	320,58	443,66
S29		74%	26%				407,56	302,35	105,21
S30		80%	20%				1.942,95	1.558,56	384,39
S31		68%	32%				634,27	431,50	202,78
S32		69%	31%				260,60	181,08	79,53
S33		41%	59%				60,83	24,83	36,00
S34		90%	10%				5.310,28	4.793,61	516,67
S35		70%	30%				1.554,21	1.092,51	461,70
S36		77%	23%				14,22	10,94	3,28
S37		67%	33%				611,25	411,89	199,35
S38	**0,47%**	**51%**	**49%**	**45,223**	**23,08**	**22,14**	**9.699,21**	**4.950,56**	**4.748,64**
S39		44%	56%				16.422,44	7.293,06	9.129,38
S40		30%	70%				24.119,57	7.304,59	16.814,98
S41		51%	49%				11.713,33	5.942,87	5.770,46
S42		55%	45%				5.639,31	3.091,67	2.547,65
S43		35%	65%				7.528,42	2.636,01	4.892,40
S44		9%	91%				10.918,43	929,84	9.988,59
S45		44%	56%				6.750,39	2.956,44	3.793,96
S46		28%	72%				6.758,21	1.877,26	4.880,95
S47		42%	58%				6.191,01	2.599,38	3.591,63
S48		35%	65%				6.756,55	2.335,29	4.421,27
S49		33%	67%				30.469,25	9.949,95	20.519,30
Total	**0,47%**	**49%**	**51%**	**45,22**	**23,08**	**22,14**	**236.508,19**	**115.113,89**	**121.394,30**

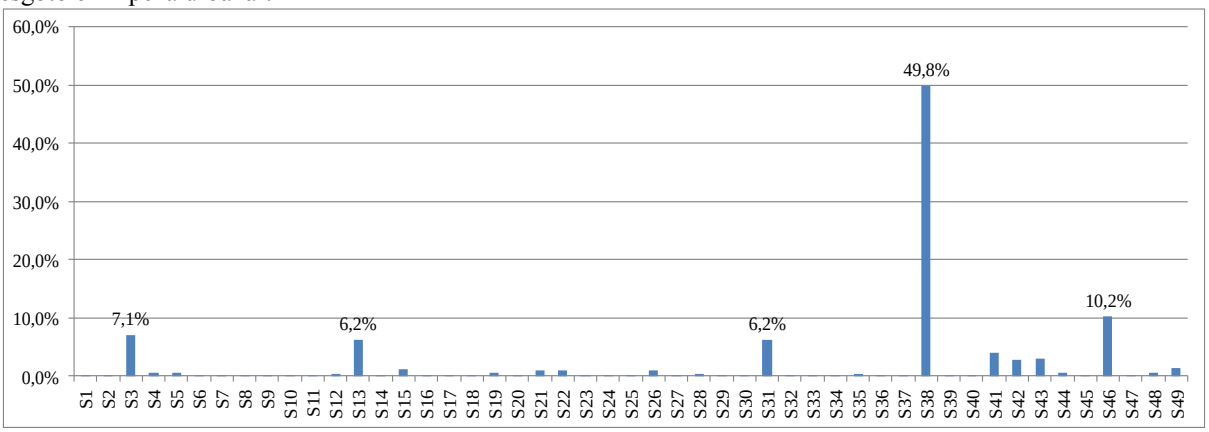
Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Pelo

Gráfico **18**, a redução do fornecimento de insumos ao longo da cadeia de fornecedores do setor de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana. O setor mais impactado é o próprio setor S38, com redução de 49,8% ou R$ 11,5 milhões dos insumos fornecidos para o próprio setor. Logo em seguida, esta o setor Serviços prestados às

empresas (S46), que reduzirá em 10,2% a quantidade de insumos fornecidos para o setor S38, equivalente a R$ 2,4 milhões.

Gráfico 18 - Consumo Intermediário poupado pelo setor 'Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana'.



Fonte: Dados da pesquisa, 2013.

Desta forma, é possível observar que os recursos naturais poupados pela reciclagem energética são provenientes do setor de Extração de Petróleo e gás. Os outros setores poupados não representam diretamente a redução no consumo de recursos naturais.

6.3 SINTESE DOS RESULTADOS

A metodologia utilizada permite a simulação de uma alteração na estrutura tecnológica de alguns setores, que se reflete em uma mudança na utilização de insumos em parte da cadeia produtiva. Na reciclagem mecânica, a redução global do CI da economia decorrente da reciclagem foi R$ 59,40. Este montante equivale à 71,48% do valor do material reciclável reaproveitado mecanicamente. O setor que apresentou maior redução no fornecimento de insumos para os demais setores foi o de Fabricação de produtos químicos que foi responsável por 39% da diferença global do CI. Este setor é considerado pouco intensivo em mão de obra e intensivo em capital. Ao todo, estão empregados no setor 12.871 trabalhadores, segundo dados de 2012. Isso equivale a 0,5% do estoque total de empregos no estado. Por outro lado, o Valor Adicionado pelo setor de Fabricação de produtos químicos representa cerca de 2% do total do Valor Adicionado pela economia do Estado da Bahia em 2009.

A reciclagem energética proporcionou uma redução no CI do setor de Produção e Distribuição de Eletricidade, Gás, Água, Esgoto e Limpeza Urbana (S38) de R$ 23,1 milhões. Este valor equivale a 51, 03% do valor do material reciclável energeticamente e representa,

aproximadamente, 38% do CI poupado pela reciclagem mecânica. O setor que reduziu mais a sua participação no CI do setor S38 foi o próprio setor. Isto significa que a energia gerada com resíduos sólidos urbanos substitui em grande medida, a energia gerada pelas outras fontes de energia, notadamente a hidroelétrica, que representa mais de 80% da matriz energética do Pais, de acordo com ANEEL (2013). Em conseqüência disso, pode-se inferir que a reciclagem energética estaria substituindo a energia elétrica de fonte renovável por energia de fonte não renovável, no caso do material reciclável queimado, principalmente plástico.

Segundo Oliveira Filho (2006) um catador de material reciclável, em cooperativas de alta eficiência, pode triar até duas toneladas de materiais recicláveis por mês, equivalente a 24 toneladas por ano. Considerando que 128.684 toneladas de resíduos são potencialmente recicláveis no município de Salvador, seriam gerados mais de 5.300 novos postos de trabalho com a reciclagem de resíduos. Desse modo, a reciclagem mecânica é geradora de trabalho e renda além de contribuir significativamente para a redução da depleção de recursos naturais, principalmente petróleo e energia elétrica. A reciclagem energética não cria empregos no segmento profissional de catadores de materiais recicláveis, pois não inclui esta mão de obra na sua cadeia produtiva.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi simular o impacto econômico da adoção de duas rotas tecnológicas de reciclagem pelo município de Salvador. A hipótese inicial foi que as rotas tecnológicas de reciclagem mecânica e reciclagem energética são mutuamente excludentes. Isto é, a utilização de uma das rotas inviabiliza a adoção da outra, pois não é possível haver complementaridades entre elas, dadas as suas especificações técnicas. A pesquisa apresentou elementos conceituais e empíricos que pudessem contribuir para entender qual é a melhor rota tecnológica a ser adotada no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos, tendo em vista o critério de Ecoeficiencia. Para elucidar esta questão, do ponto de vista econômico, foi utilizada a analise de Insumo-Produto para simular o resultado da adoção das rotas tecnológicas de reciclagem dos resíduos gerados no município de Salvador na cadeia produtiva do estado da Bahia.

Os modelos de Insumo-Produto expressaram o ponto de vista dos setores demandantes de materiais recicláveis e o ponto de vista dos setores ofertantes de matérias primas virgens. O banco de dados com informações sobre a quantidade e qualidade dos Resíduos Sólidos Urbanos gerados no município de Salvador, no ano de 2010, foi obtido em estudos da Prefeitura Municipal de Salvador (2012). Para valoração dos materiais recicláveis foram utilizados os preços de mercado divulgados pelo Compromisso Empresarial para Reciclagem (Cempre) e os preços de energia termoelétrica do leilão da Empresa de pesquisa Energética (EPE).

A análise das características técnicas dos processos de reciclagem partiu do princípio de que os Resíduos Sólidos Urbanos constituem uma subclasse de Resíduos Sólidos. Estes são constituídos pelos resíduos gerados nos ambientes domésticos, comerciais de pequeno porte, além dos resíduos públicos, provenientes de limpeza de ruas e logradouros urbanos. A recuperação destes resíduos pode ser por reciclagem mecânica ou reciclagem energética. A reciclagem mecânica se caracteriza como um processo de transformação do material que compõe o resíduo em matéria-prima secundária. Logo, este material retorna como insumo físico ao processo produtivo, podendo ser transformado em um objeto igual ou diferente do original. A reciclagem energética produz eletricidade através da energia calorífica gerada pela queima de RSU com poder calorífico mínimo. Sendo assim, as características físico-químicas dos RSU ensejam um questionamento a cerca da melhor forma de recuperação, do ponto de

vista da Ecoeficiencia.

A geração de Resíduos Sólidos Urbanos cresce com o processo de urbanização das principais cidades do mundo. Atualmente, a sua gestão tornou-se uma questão crucial nas políticas ambientais urbanas. Inicialmente, os problemas dos Resíduos Sólidos Urbanos eram associados apenas à área física de disposição de resíduos, pois os espaços possíveis de disposição de RSU começaram a se tornar escassos. Isso fez com que os sítios de disposição se tornassem cada vez mais distantes e custosos. Como conseqüência, desde o inicio do século XX, os países desenvolvidos passaram a adotar a solução da incineração de resíduos para redução do seu volume, no principio, feita ainda sem geração de energia (SANTOS E DIAS, 2012; GOLDEMBERG, 2012)

A reciclagem mecânica teve origem no mesmo período, porém, com motivação distinta. As grandes guerras mundiais, também no inicio do século XX, ensejou um esforço de eficiência produtiva material devido à escassez de recursos e mão-de-obra típica dos períodos de guerras. Logo, a técnica de reciclar mecanicamente resíduos surge para substituir algumas matérias primas virgens que se tornaram escassas. Do mesmo modo, a reciclagem energética surge da necessidade de reduzir a quantidade de resíduos em aterros em países com escassez de fontes energéticas (STRASSER, 1999).

Diante da análise das técnicas de reciclagem no início desta dissertação, foi mostrado no capitulo III como a escolha da rota tecnológica com maior grau de Ecoeficiencia de gestão de resíduos se tornou objeto de controvérsias, nos dias atuais. Neste contexto, a Política Nacional de Resíduos Sólidos contribuiu para esta discussão, no Brasil. Com base nas informações e parâmetros técnicos apresentados sobre a tecnologia de incineração com recuperação energética, foi estabelecida nesta dissertação, a hipótese de que as rotas de reciclagem aqui analisadas são mutuamente excludentes. A reciclagem mecânica, ao promover a separação dos materiais recicláveis para a transformação de materiais primas secundárias para a indústria de transformação, desvia os materiais com maior poder calorífico dos RSU. Desta forma, a reciclagem mecânica compromete seriamente a viabilidade econômica e técnica da reciclagem energética, causando um conflito de interesses entre os agentes econômicos envolvidos.

O referencial teórico considerou os princípios que norteiam a PNRS, a teoria econômica sobre

o meio ambiente, a legislação de resíduos e as constatações empíricas dos capítulos anteriores. A teoria econômica tradicional absorveu críticas sobre as questões ecológicas e ambientais decorrentes da atividade produtiva. Entretanto, concepções metodológicas fundamentais da teoria tradicional limitam a sua abordagem sobre o meio ambiente, a exemplo da analise baseada na física mecânica clássica, que ignora a passagem do tempo e a impossibilidade de reversão de certos processos.

A teoria da economia ecológica aproxima a economia da ecologia e do meio ambiente, ao propor a abordagem da física termodinâmica para entendimento da inter-relação entre economia e meio ambiente. Toda a análise passou a ser centrada na busca pela conservação energética, mantendo a entropia em níveis mais baixo possíveis. Neste contexto, foi apresentado o conceito de Ecoeficiencia que define a busca por eficiência da conservação de energia de forma economicamente viável. Com isso, a construção do referencial teórico para esta pesquisa mostrou a possibilidade de adequar às modernas teorias da economia ambiental e ecológica com as políticas publicas de gestão de resíduos sólidos.

Para realizar a simulação econômica e verificar a conservação de recursos naturais e energéticos, foi utilizada a analise de Insumo-Produto. O modelo apresentado representa uma analise pelo lado da oferta de matéria prima virgem e de energia de outras fontes. Esta mostrou a mudança na estrutura de insumos decorrente da redução no nível de utilização de matéria prima virgem, em função da sua substituição por recicláveis. Desse modo, o método simula uma nova estrutura tecnológica de produção na economia do estado da Bahia. Para isso, foi necessária a valoração econômica dos resíduos gerados no município de Salvador, de acordo com o valor do produto gerado em cada rota tecnológica de reciclagem. Os resíduos, quando submetidos à reciclagem mecânica apresentam quase o dobro de valor de mercado do que quando submetidos à reciclagem energética, respectivamente, R$ 83, 092 milhões contra R$ 45, 222.

Os resultados das simulações da mudança na estrutura produtiva do estado da Bahia apontaram uma redução no consumo intermediário dos setores fornecedores de matéria prima virgem em R$ 59,4 milhões, com a reciclagem mecânica, e de R$ 23,1 milhões, com a reciclagem energética. Na reciclagem mecânica, o setor mais poupado foi o de Fabricação de produtos químicos, que abrange a indústria petroquímica de segunda geração. Na reciclagem energética, o setor que mais reduziu o fornecimento de insumos para estes setor foi o próprio

setor de Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana foi o próprio setor. Os resultados apontaram ainda que a reciclagem mecânica dos RSU do município de Salvador tem o potencial de gerar mais de 5.300 postos de trabalho no segmento ocupacional de catadores de materiais recicláveis. A reciclagem energética gera 442.741 MWH por ano, o que equivale à cerca de 2% da energia elétrica consumida no estado da Bahia em 2013.

Verificou-se, ainda, nesta pesquisa que a economia de recursos com a reciclagem mecânica é mais do que o dobro da econômica de recursos obtida com a reciclagem energética. À luz da teoria econômica ecológica e da teoria da economia do meio ambiente, a reciclagem mecânica atende às dimensões ambientais, ecológicas e econômicas do principio da Ecoeficiencia. Do ponto de vista ecológico e ambiental, a reciclagem mecânica é conservadora de energia de baixa entropia, enquanto a reciclagem energética destrói a energia na em que a torna indisponível após a queima.

A economia ecológica provê os elementos teóricos para esta constatação, quanto à economia ambiental desenvolveu em seu arcabouço os instrumentos econômicos para atingir este objetivo, a exemplo dos princípios do poluidor pagador e do protetor recebedor, previstos na PNRS. Do ponto de vista econômico, verificou-se que o valor agregado aos resíduos submetidos à reciclagem mecânica é maior do que o valor agregado dos resíduos submetidos à reciclagem energética. Este fato se reflete nos preços de mercado atribuídos aos resíduos em cada rota tecnológica de reciclagem. O mecanismo de preços, na microeconomia, é tido como uma sinalização do mercado sobre a importância do material reciclável na cadeia produtiva da indústria. Além disto, a geração de emprego e renda entre o segmento ocupacional de catadores contempla a dimensão social da Ecoeficiencia.

Com base nas constatações teóricas e empíricas desta pesquisa, as políticas públicas formuladas de com os princípios da PNRS devem desenvolver dois pontos fundamentais para promoção da gestão ecoeficiente e integrada de RSU: estimular a reciclagem mecânica em detrimento da energética e promover, através de instrumentos econômicos, a cadeia produtiva e logística deste mercado. O estimulo para a reciclagem mecânica em detrimento da energética é prioridade devido à propriedade de conservação de energia útil da reciclagem mecânica. Para tanto, o poder público deve utilizar a prerrogativa de subsidiar as atividades econômicas que utilizem resíduos recicláveis e energias renováveis e taxar as atividades que

não tenham se adequado às praticas de Ecoeficiencia, principalmente no que se refere a não geração de resíduos e à reciclagem. Por outro lado, as indústrias transformadoras devem ser induzidas a adequarem o desenho dos seus produtos, em função de lhes conferir maior reciclabilidade, processo também conhecido como *ecodesign*.

Outro importante nicho de atuação das políticas públicas ambientais deve ser a promoção de maior eficiência na cadeia de logística reversa, para retorno destes resíduos à indústria transformadora recicladora. Os catadores de materiais recicláveis têm um importante papel nisto, e o fortalecimento desta classe profissional deve ser constantemente apoiado pelo poder publico.

Caso o sistema de incineração se mostre necessário para a redução do volume de rejeitos destinado ao aterro, deve-se adequar a tecnologia para a realidade ecológica atual. Para tanto, é fundamental a desvinculação da receita mínima que garanta a viabilidade econômica das Usinas WTE da quantidade de energia gerada. Assim, as tecnologias de incineração e reciclagem energética devem ser formuladas para trabalharem em escalas reduzidas de modo que não concorram com a reciclagem mecânica.

A metodologia de estimação de impactos econômicos e mudanças tecnológicas decorrentes da reciclagem sobre determinada estrutura produtiva também pode ser refinada. Uma alternativa é o desenvolvimento de modelos híbridos ou ampliados de insumo-produto que incorporem elementos ambientais. Outra alternativa seria a construção de um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) inter-regionais, que consideram as interações regionais e as restrições sobre a disponibilidade de recursos, efeitos de mudanças nos preços e os processos de substituições nos mercados de bens, serviços e fatores de produção.

Além do desenvolvimento do modelo de Insumo-Produto para incorporar mais detalhadamente informações sobre reciclagem, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) deve receber mais atenção da teoria econômica. A ACV, atualmente é um instrumento utilizado pela engenharia ambiental pode começar a ser tratada pela teoria econômica como um instrumental que possa ser utilizado o conhecimento aprofundado da dimensão econômica da Ecoeficiencia. O ACV e, inclusive, compatível com a forma de organização das informações utilizadas em matrizes Insumo-Produto. Estudos que venham aprofundar a comparação entre rotas tecnológicas alternativas de reciclagem devem, ainda, incorporar a compostagem e

geração de energia através de biogás na rota tecnológica da reciclagem mecânica.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Banco de informações sobre geração:** resumo estadual, Bahia- empreendimentos em construção. [S.l.]: [S.n.], 2013.

AGRA FILHO, S. S. Conflitos ambientais e os instrumentos da política nacional de meio ambiente. **Egesta**, Santiago de Compostela, abr./jun. 2008. Disponível em: <http://www.unisantos.br/mestrado/gestao/egesta/artigos/149.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2013.

AQUINO, M. C. **Efeitos dos investimentos recentes no setor calçadista sobre a economia Baiana**: Uma Análise Insumo-Produto. 2004. 150 f. Dissertação (Mestrado em Economia). Curso de Mestrado em Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10004**: 2004. Disponível em: <http://www.saac.com.br/pdf/NBR10004-2004-classificadodeResiduosSolidos.pdf.> Acesso em: 13 fev. 09.

AZEVEDO, G.O.D. **Por menos lixo**: A minimização dos resíduos sólidos urbanos na cidade do Salvador/Bahia. 146f. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental Urbana, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

BACHARACH, M. **Biproportional matrices and input-output change**. Cambridge: Cambridge University Press, 1970.

BAHIA. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia - SEI. **Sistema de informações municipais**: metadados: consumo e consumidores de energia elétrica por classe, na Bahia. Disponível em: <http://sim.sei.ba.gov.br/sim/tabelas.wsp#>. Acesso em: 02 jul. 2013.

BARATA, E. J. G. Solid waste generation and management in Portugal: an environmental input-output modelling approach. In: BIENNIAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR ECOLOGICAL ECONOMICS. “Environment and Development: Globalization & the Challenges for Local & International Governance”, **Anais…**Tunisia, Março, 2002. 25 p.

BAUMOL, W.J.; OATES, W.E. The use of standarts and prices for protection of environment.. **The Swedish Journal of Economics**, Princeton, abr./2007. Disponivel em: <http://econweb.umd.edu/~oates/research/PricesEnvironment.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2013.

BOULDING, K. E. The economics of the coming spaceship Earth. In: JARETH, H. **Environmental quality in a growing economy**. Baltimore, MD: Resourches for the future / Johns Hopkins University Press, 1966.

BRASIL. Lei ordinária n. 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n. 9.605 de 12 de fevereiro de 1988; e dá outras providencias. **Diário Oficial da União,** Brasília**,** 03 agosto de 2010-a**,** p. 02. Disponível em:

<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>. Acesso em: 24 set. 2013.

_____. Lei ordinária n. 11.445. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as leis n. 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a lei 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União,** Brasília, 08 de janeiro de 2007-c, p. 03. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm>. Acesso em: 24 set. 2013.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Pesquisa industrial anual – PIA**. 2009 – a. Disponível em: <www.cidades.gov.br>. Acesso em: 20 dez. 2012.

_____. **Pesquisa nacional de saneamento básico – PNSB**. 2000. Disponível em: <www.cidades.gov.br>. Acesso em: 20 dez. 2012.

_____. **Pesquisa nacional de saneamento básico – PNSB**. 2008 – a. Disponível em: <www.cidades.gov.br>. Acesso em: 20 dez. 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**: sistema nacional de informações sobre saneamento 2007. Disponível em: http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=16. Acesso em: 10 out. 2013.

_____. **Diagnóstico de manejo de rsíduos slidos ubanos**: Sistema nacional de informações sobre saneamento. 2008 - b. Disponível em: <htp://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=16>. Acesso em: 10 out. 2013.

_____. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**: sistema nacional de informações sobre saneamento. 2009 - b. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=16>. Acesso em: 10 out. 2013.

_____. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos**: sistema nacional de informações sobre saneamento 2010 - b. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=16>. Acesso em: 10 out. 2013.

_____. **Diagnóstico de manejo de resíduos sólidos urbanos:** sistema nacional de informações sobre saneamento. 2011 - a. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=16>. Acesso em: 10 out. 2013.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética - EPE. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos de Campo Grande, MS**: nota técnica DEN 06/08. 2008 - c Disponível em: <http://www.epe.gov.br/SerieEstudosDemanda/20081208_1.pdf>. Acesso em: 04 mai. 2013.

_____. **Primeiro leilão de energia eólica do país viabiliza a construção de 1.805,7 MW.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20091214_1.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2013.

_____. **Informe à imprensa**: leilão de energia A-5. 2011 - b Disponível em: <http://www.epe.gov.br/imprensa/PressReleases/20111220_1.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2013.

_____. **Balanço energético nacional – BEM**: relatório final. 2013. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos:** versão pós audiências e consulta publica para Conselhos Nacionais. Brasília, 2012 - a.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Relatório Anual de Informações Sociais** – RAIS. Brasília, 2010.

_____. **Relatório Anual de Informações Sociais** – RAIS. 2012 - b.

BRITO, E. **Relatório de atividades**. Rio de Janeiro: Coordenação de Projetos de Redução da Lixo e Limpeza das Favelas/ COMLURB, 1994.

CÁNEPA, E. M. Economia da poluição**.** In: MAY, P. H. **Economia do meio ambiente.** Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2010. p. 79-98.

CARVALHO, J. T. A. **Analise da apropriação dos excedentes econômicos gerados na etapa de comercialização de materiais recicláveis**: estudo de caso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. 150f. 2009. Monografia (Graduação em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

CECHIN, A. D. **Georgescu-Roagen e o desenvolvimento sustentável**: diálogo ou anátema. São Paulo: Edusp, 2008.

CECHIN, A. D; VEIGA, J. E. Fundamento central da economia ecológica. In: MAY, P. H. **Economia do meio ambiente.** Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010. p. 34-47.

CELINE, S. G.; KEE, J. E. Cost – Effectiveness and cost - benefits analysis. In: WHOLEY, J. S. et al. **Handbook of practical program evaluation**. Disponível em: <http://home.gwu.edu/~scellini/CelliniKee21.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2013.

CEMPRE - COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Pesquisa de preços 2010**. Disponível em: <www.cempre.org.br/ >. Acesso em: 02 jan. 2013.

CHOI, T.; JACKSON, R. W.; LEIGH, N. G. et al. A baseline input – output model with environmental accounts (IO EA) applied to e- waste recycling. In: INTERNATIONAL REGIONAL SCIENCE REVIEW. 2011. Illinois, **Anais…** University of Illinois. Urbana, Illinois, 2011. p. 3-34. Disponível em: <*http://irx.sagepub.com/content/34/1/3*.> Acesso em: 29 jan. 2013.

CLIMATE WORKS. **Estudo de alternativas de tratamento de resíduos sólidos urbanos. incinerador *mass burn* e biodigestor anaeróbico:** subsídios técnicos à elaboração dos planos locais de gestão dos resíduos sólidos. São Paulo: Via Pública, 2012.

COASE, R. The problem of the social costs. **Journal of Law and Economics**, Chicago, out./ 1960.

CONNETT, P. H. **The zero waste solution**: untrashing the planet one community at a time. New York, EUA: Chelsea Green. 2013.

CONNETT, P. H. Municipal waste incineration: A poor solution for the twenty first century. In: ANNUAL INTERNATIONAL MANAGEMENT CONFERENCE, IV. 1998. Amsterdan. **Anais**… Amsterdan, Nederland, 1998.

DAMAS, L. B.; SANTOS, P.A. A; MORESCO, G.M.; et al. Cenário nacional e tendências para geração eólica. **Revista da Associação Brasileira de Engenharia e Ciências Mecânicas (ABCM)**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 1, p. 13-22, 2012.

DALY, H. **Towards a steady state economy**. San Francisco: W. H. Freeman & Co., 1973.

DAILY, G. C. Introduction: what are ecosystem services? nature's services: socyetal dependences on natural ecosystems. Washington DC: Island Press, 1997. 412 p.

DELMONT, L. G. **Análise dos impactos econômicos oriundos da reciclagem de resíduos sólidos urbanos para economia brasileira no ano de 2004:** uma abordagem Insumo-Produto**.** 110f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

DENISON, R. A. Environmental life-cycle comparisons of recycling, landfilling, and incineration: a review of recent studies. **Annual Review Energy Environ**, Washington, 1996. Disponivel em: <http://www.edf.org/sites/default/files/1340_denison.pdf>. Acesso em: 21 jul. 2013.

DOMINGUES, E. P., CARVALHO, T. S. Análise dos impactos econômicos dos desembolsos do BDMG nos anos 2005, 2009 e 2010 em Minas Gerais. **Cadernos BDMG**, Belo Horizonte, v. 21, p. 7-54, 2012.

EUROPEAN COMISSION. **Life Cycle thinking and assessment for waste management**. Disponível em: <http://ec.europa.eu/environment/waste>. Acesso em: 22 dez. 2013.

FIGUEIREDO, F. F. Similitudes na gestão dos resíduos sólidos urbanos em países centrais e periféricos: biblio 3W. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, Barcelona, Disponível em: <http://www.ub.es/geocrit/b3w-975.htm>. Acesso em: 15 mai. 2012.

FREITAS, L. F. da S. **Potencial econômico da reciclagem de resíduos sólidos urbanos na Bahia:** uma abordagem insumo-produto. 2007. 95f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2007.

FREITAS, L. F. da S.; OLIVEIRA FILHO, J.D. Potencial econômico da reciclagem de resíduos sólidos na Bahia. **Revista Econômica do Nordeste**. V. 40, n. 2, p. 380-396, abril/jun., 2009.

FRONDIZI, I. M. R. L. **O mecanismo de desenvolvimento limpo:** guia de orientação. Rio de Janeiro: FIDES, 2009.

GEORGESCU-ROAGEN, N. **Analytical economics**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1966.

_____. **The entropy law and the economic process**. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1971.

_____. **Energy and economics myths**. Nova York: Permagon Press. 1976

GOLDEMBERG, J. Resíduos sólidos: o caminho para a sustentabilidade. In: SANTOS, M. C. L.; DIAS, S. L. F. G. (Org.). **Resíduos sólidos urbanos e seus impactos socioambientais**. Disponivel em: <http://bibfauusp.wordpress.com/2012/06/26/livro-digital-residuos-solidos-urbanos-e-seus-impactos-socio-ambientais-disponivel-para-download-gratuito/>. Acesso em: 20 ago. 2013.

GUILHOTO, J. J. M. **Análise de insumo - produto**: teoria e fundamentos. Disponível em: <http://www.erudito.fea.usp.br/PortalFEA/Repositorio/835/Documentos/Guilhoto%20Insumo%20Produto.pdf.> Acesso em: 02 mar. 2013.

_____. **Metodologia de insumo – produto**: teoria e fundamentos. São Paulo: Faculdade de Economia e Administração da USP, 2008.

_____. Input – output analysis: theory and foundations. **Munich Personal Repec Archive – MPRA,** 05 de Agosto de 2011. Disponível em:<http://mpra.ub.uni-muenchen.de/32566/>. Acesso em: 02 mai. 2013.

HADDAD, E. A.; PORSSE, A. A.; RABAHY, W. A. Domestic tourism and regional inequality in Brazil. **Tourism Economics**: the business and finance of tourism and recreation, v.19, n. 1, p. 173-86, 2013.

HAYAMI, H.; NAKAMURA, M. Greenhouse gas emissions in Canada and Japan: Sector-specific estimates and managerial and economic implications. **Journal of Environmental Management. Sauder School of Business Working Paper Series**, British Columbia, United Kingdom, jan./2007. .

HIRSCHMAN, A. O. **The strategy of economic development**. Yale: Yale University, 1958.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Classificação nacional de atividade econômica:** versão 2.0. 2007. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/classificacoes/cnae2.0/cnae2.0.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2013.

_____. **Cidades.** 2012 Disponivel em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=292740&search=bahia|salvador>. Acesso em: 24 mai. 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE**. Sistema de contas nacionais**: Tabela de recursos e usos, metodologia. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasnacionais/2009/default.shtm>. Acesso em: 24 out. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE**. Sistema de contas regionais:** tabelas completas 2002-2011**.** Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/contasregionais/2011/default_xls_2002_2011.shtm>. Acesso em: 24 out. 2013

INSTITUTO SÓCIO AMBIENTAL DOS PLÁSTICOS - PLASTIVIDA. **Índice de Reciclagem Mecânica de Plásticos no Brasil** (IRmP): relatório de pesquisa. [S.l.]: [S.n.], 2012.

ISARD, W. **Methods of regional analysis**. Cambridge: MIT Press, 1960.

KIPERSTOK, A. Tecnologias limpas: por que não fazer já o que certamente se fará amanhã? **TECBAHIA – Revista Baiana de Tecnologia**, Salvador, v. 14, n. 2, p. 45-52, mai./ago. 1999.

KIPERSTOK, A, et al. **Inovação e meio ambiente**: elementos para o desenvolvimento sustentável na Bahia. Salvador: Centro de Recursos Ambientais, 2003. 298 p.

_____. **Prevenção da poluição**. Brasília: SENAI/DN, 2002. 290p.

LAGER, C. Production, prices and tyme: a comparison of some alternative concepts. **Economic systems research.** v. 12, n. 2, p. 231-253, jun. /2000.

LAGREGA, M.D.; BUCKINGHAM, P. L.; EVANS, J.C. **The environmental resources management group**. Hazardous Waste Management. Singapore: McGraw-Hill International Editions, 1994. 1146 p.

LAYARGUES, P. O cinismo da reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. In: LOUREIRO, F.; LAYARGUES, P.; CASTRO, R. (Org.). **Educação ambiental**: repensando o espaço da cidadania. São Paulo: Cortez, 2002. p. 179-220.

LEITE, A. P. **Uma metodologia para a construção de matrizes regionais compatíveis** : o RAS modificado agregado: uma aplicação para as grandes regiões do Brasil em 2006. 2009. 88f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

LEONTIEF, W. Quantitative input-output relations in the economic systems of the United States. **Review of Economics and Statistics.** New York .v.18, p. 105-25, 1936.

_____. Output, employment, consumption, and investment. **Quaterly Journal of Economics.** New York. v. 58, n. 2, p. 290-313, 1944.

_____. **Input-output economics**. New York: Oxford University Press. 1966.

_____. Environmental repercussions and the economic structure: an input-output approach. **Input – Output Analysis**, New York. v. 1, 1970.

_____. **Input-output economics**. 2. ed. New York: Oxford University Press, 1986.

_____. Input-output analysis. In: EATWELLl, J., et al (Eds.). **The new palgraven**: a dictionary of economics. New York: [S.n.], 1987. v. 2, p.860-864.

_____. The economy as a circular flow. **Structural change and economic dynamics**. New York: [S.n.], 1991. v.2, p. 177-212.

LEONTIEF, W; FORD, D. Air pollution and the economic structure: empirical results on input- output computations. In: BRODY, A., CARTER, A.P. **Input-output techniques**. Amsterdam: North Holland, 1972. p. 9-30

LIFSET, R.; GRAEDEL, T. Industrial ecology: goals and definitions. In: AYRES, R, AYRES, L (Eds.). **A handbook of industrial ecology**. Disponível em: <http://iepoi.uni-mb.si/samec/Handbook_Industrial_Ecology_2002.pdf>. Acesso em: 25/08/2013.

MARTINS, L. A. T. P.; et al. A Formação dos preços dos materiais recicláveis numa estrutura de mercado oligopsônica. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIENCIA, 57. Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Universidade Estadual do Ceará, SBPC (Sociedade Brasileira para o progresso da Ciência). 2005.

MASALÍAS, J. P.; NUREÑA, C. **Evaluación temática regional**: Trabajo infantil en la segregación y gestión de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe. Disponível em: <http://white.oit.org.pe/ipec/boletin/documentos/ct190.pdf>. Acesso em: 14 abril 2011.

MATA, H. T. C. **Impactos da poluição industrial na economia brasileira**. 2001. 277 fls. Tese (Doutorado em Economia). Programa de Pós -Graduação em Economia. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2001.

MENEZES, J. et al. Estágio atual da incineração no brasil. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA, VII. Estágio Atual da Incineração no Brasil. 2000. Curitiba. **Anais...** Curitiba: ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública, 2000.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis**: foundations and extensions. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 2009.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM. **Estudo do estado da arte e análise de viabilidade técnica, econômica e ambiental da implantação de uma usina de tratamento térmico de Resíduos Sólidos Urbanos com geração de energia elétrica no estado de Minas Gerais**: relatório 001. Disponível em:

<http://www.feam.br/images/stories/fean/relatorio%201%20%20estado%20da%20arte%20do%20tratamento%20termico.pdf>. Acesso em: 30/07/2013.

_____. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos**: guia de orientações para governos municipais de minas gerais. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2012.
Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/arquivos/mudnacaclimatica/2013/aproveitamento%20energetico%20de%20rsu_guia%20de%20orientaes_versao_publicacao_on_line.pdf>. Acesso em: 03/03/2013.

MOREIRA JUNIOR, P. A. N. **As políticas ambientais de cobrança pelo uso da água na Bacia Paraíba do Sul: Uma abordagem insumo-produto**. 2007. 178f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2007

MORRIS, J. Recycling versus incineration: an energy conservation analysis. **Journal of Hazardous Materials**. Sound Resource Management Group, Seattle, USA, v. 47, p. 277-293, 1996.

OLIVEIRA, E. C.; et al. Economia e meio ambiente: uma abordagem teórica de insumo : produto no estado do Amazonas. In: ENCONTRO NACIONAL DA ECOECO, 9, Brasília. **Anais...** Sociedade Brasileira de Economia Ecológica. Brasília/DF, out./2011

OLIVEIRA, G. L. **A metodologia do Teclim para o uso racional da água na indústria**: uma proposta de sistematização. 2011, 109f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Industrial, Universidade Federal da Bahia, 2011.

OLIVEIRA FILHO, J. D. (Coord.). **Análise do custo de geração de postos de trabalho na economia urbana para o segmento de catadores de materiais recicláveis**: relatório técnico final. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Social e Combate à Fome, 2006

_____. **Cadeia produtiva da reciclagem e organização de redes de cooperativas de catadores:** oportunidades e elementos críticos para a construção de tecnologia social de combate à pobreza e inclusão social no estado da Bahia. Salvador: FAPESB, 2008. (Relatório de Pesquisa)

_____. **Para uma política publica de pagamentos por serviços ambientais urbanos de cooperativas e associações de catadores de materiais recicláveis:** linhas gerais. Salvador: PANGEA, 2010.

PANGEA – Centro de estudos socioambientais. **Plano executivo estratégico de construção de rede de coleta e comercialização de materiais recicláveis da região metropolitana do Rio de Janeiro**: Projeto Rede Cata Rio. Salvador, 2008. (Relatório de Pesquisa)

PEREIRA, A. M.; et al. As políticas de comando e controle são a melhor alternativa para o conhecimento tradicional? In: ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA ECOLÓGICA, 7, 2007, Fortaleza. **Anais...** Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Fortaleza, 2007.

PEREIRA, R. M. **Aspectos econômicos dos modelos de cobrança da água pelo lançamento de efluentes**: A Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. 2007. 140f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2007

PIMENTEIRA, C. P. **Aspectos sócios - econômicos da gestão de resíduos sólidos na cidade do Rio de Janeiro**: uma abordagem insumo produto. 2002. 168f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

PRESTON, F. A global redesign? shaping the circular economy. **Energy, environment and resource governance**. Disponível em: <http://www.chathamhouse.org/research/eedp/current-projects/circular-economy>. Acesso em: 24/10/2013

RASMUSSEN, P. N. **Studies in inter-sectoral relations**. Amsterdan: North Holand, 1956.

RIBEIRO, L.C. de S.O **Impacto econômico dos materiais recicláveis das cooperativas de catadores do estado no Rio de Janeiro em 2006**: uma Analise de Insumo Produto. 2010. 140f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2010.

ROJAS, S. P. **Contribuição do enfoque de Ciclo de Vida da Ecologia Industrial na economia do meio ambiente**: estudo de caso: etanol Derivado do bagaço da cana-de-açúcar. 2011. 145f. Tese (Doutorado em Economia) – Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

SALVADOR. Secretaria de Infraestrutura e Defesa Civil - SINDEC. **Plano municipal de saneamento básico**: limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos. Disponível em: <http://www.infraestrutura.salvador.ba.gov.br/consultapublica/arquivos/PMSB_Res%C3%ADduosS%C3%B3lidos_Final.pdf>. Acesso em: 29/11/2013.

SALVADOR. Secretaria de Serviços Públicos e Prevenção à Violência - SESP. **Plano básico de limpeza urbana**. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/142696570/Plano-Basico-de-Limpeza-urbana-de-Salvador>. Acesso em: 11/11/2013.

SANTOS, M. C. L. GONÇALVES- DIAS, S. L. F. (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos e seus impactos socioambientais**. Disponível em: <http://bibfauusp.wordpress.com/2012/06/26/livro-digital-residuos-solidos-urbanos-e-seus-impactos-socio-ambientais-disponivel-para-download-gratuito/>. Acesso em: 08 out. 2013.

SINDICATO DAS EMPRESAS DE LIMPEZA URBANA NO ESTADO DE SÃO PAULO – SELUR; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS SÓLIDOS E LIMPEZA PÚBLICA – ABLP. **Gestão de limpeza urbana**: um investimento para o futuro das cidades. São Paulo: PricewaterhouseCoopers, 2010.

SILVEIRA, A.H.P. Uma variante do método biproporcional para a estimativa de matrizes de relações intersetoriais na ausência de dados sobre produção intermediária. In: CONGRESSO NACIONAL DE ECONOMIA, 15, 1993, Belo Horizonte. **Anais…** Belo Horizonte: ANPEC, 1993.

SOUZA, C. S., MILLER, D. S. **O protocolo de Quioto e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)**: as reduções certificadas de emissões (RCEs), sua natureza jurídica e a regulação do mercado de valores mobiliários, no contexto estatal pós-moderno. Rio de Janeiro: Comissão de Valores Mobiliários-CVM, 2003.

TELLO, E. Eliminar resíduos o gestionar materiais. **Revista del departament de medi ambient de la generalitat de Catalunya**. Barcelona, 2001. Disponível em: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd43/tello.pdf>. Acesso em: 14 abril 2011.

TORRES, S. E. **A competitividade da indústria brasileira de alumínio.** 2010. 50f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia. 2010.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA - UFBA. Faculdade de Economia. **Rede Cata – Rio**: relatório de pesquisa, 2008.

VELLANI, C.L.; GOMES, C.C.M.P. Como medir ecoeficiência empresarial? In: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 13, São Paulo, **Anais...** São Paulo, 2010**.**
19 p.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Making choices in health**: WHO guide to Cost – Effectiveness Analysis. Disponível em: <http://www.who.int/choice/publications/p_2003_generalised_cea.pdf>. Acesso em: 27/05/2013.

YOUNG, C. E. F. Contabilidade ambiental nacional: Fundamentos teóricos e aplicação empírica no Brasil. In: MAY, P. H. **Economia do meio ambiente.** Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2010. p. 134-159.

ANEXOS

Tabela 11 - Poder Calorífico Inferior dos grupos de RSU

Componente	PCI kcal/kg por material
Matéria Orgânica	712
Plásticos	8.193
Papel e Papelão	2.729
Têxteis e Couro	1.921
Madeira	2.490
Borracha	8.633
Inertes / rejeitos (metal + vidro + outros rejeitos)	-
Total	**-**

Fonte: Dados da pesquisa, 2013, a partir de Minas Gerais (2012) e Brasil (2008-a)

Quadro 5 - Principais destaques da PNRS

"I - a prevenção e a precaução;

II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;

III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;

V - a Eco eficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;

VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

"III - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;"

Entre os seus objetivos, descritos no Art. 7º do mesmo capitulo, destacam-se aqui:

"II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;

IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;

VI - incentivo à indústria da reciclagem, tendo em vista fomentar o uso de matérias-primas e insumos derivados de materiais recicláveis e reciclados;

VII - gestão integrada de resíduos sólidos;

XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para produtos reciclados e recicláveis;

XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;

XIV - incentivo ao desenvolvimento de sistemas de gestão ambiental e empresarial voltados para a melhoria dos processos produtivos e ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético;

Para atingir tais objetivos, a PNRS estabelece instrumentos econômicos e legais de incentivo e regulação, dentre os quais podem ser destacados os seguintes itens do Art. 8º:

I - os planos de resíduos sólidos; III - a coleta seletiva, os sistemas de logística reversa e outras ferramentas relacionadas à implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos; VI - a cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos; IX - os incentivos fiscais, financeiros e creditícios;

Fonte: Política Nacional de Resíduos Sólidos

As Tabelas de Recursos e Usos da Economia (TRU)

As TRUs constituem o ponto de partida para as analises de relações intersetoriais e Insumo-Produto. São na verdade duas tabelas, sendo uma tabela de recursos de bens e serviços (oferta) e a outra de uso de bens e serviços (demanda). A partir da manipulação algébrica destas informações são construídas as Matrizes de Relações Intersetoriais (MRI) dos sistemas econômicos.

A Tabela de Recursos da Economia está dividida entre três componentes básicos:

- Oferta Total / Global de bens e serviços
- Produção das atividades (Matriz de Produção - P)
- Importação (interna e externa)

Já a Tabela de Usos da Economia, visualizada graficamente na também se divide em três partes, quais sejam:

- Consumo Intermediário das Atividades (Matriz de Consumo Intermediário - Q)
- Demanda Final
- Valor Adicionado

Algebricamente, pode-se descrever a MIP como uma organização dos fluxos anuais de bens e serviços (GUILHOTO; 2004), tal como se pode visualizar na Tabela 12.

Tabela 12 - Relações algébricas da TRU e matriz Insumo-Produto

	Produto	**Setores**	**Demanda Final**	**Produção Total**
Produto		Q	dfp	qp
Setores	P	Qq	dfs	qs
Importações		m		
Impostos indiretos liquidos		t		
Valor adicionado		va		
Produção total	qp'	qs'		

Fonte: Guilhoto (2008)

Em que:

- P é a matriz de produção de dimensão nxm, onde o elemento vij corresponde ao bem j produzido pelo setor i;

- Q é a matriz de uso de dimensão mxn, onde o elemento uij é o valor do produto i utilizado pelo setor j em seu processo de produção;
- Q quadrada (Qq) é a matriz de uso de dimensão nxn, onde o elemento Qqij é o valor do setor i utilizado pelo setor j em seu processo de produção;
- dfp é o vetor de demanda final, por produto, de dimensão mx1;
- dfs é o vetor de demanda final, por setor, de dimensão nx1;
- m é o vetor de importações totais realizadas em cada setor, de dimensão 1xn;
- t é o vetor do total dos impostos indiretos líquidos pagos em cada setor, de dimensão 1xn;
- va é vetor do total do valor adicionado à produção gerado em cada setor, de dimensão 1xn;
- qp é o vetor de produção total, por produto, de dimensão mx1;
- qs é o vetor de produção total, por setor, de dimensão nx1.

Desta forma, tem-se que:

$$P = p_{ij} \qquad \text{tal que } \begin{smallmatrix} i=1,2,\ldots,n \\ j=1,2,\ldots,m \end{smallmatrix} \qquad (1)$$

$$Q = q_{ij} \qquad \text{tal que } \begin{smallmatrix} i=1,2,\ldots,n \\ j=1,2,\ldots,m \end{smallmatrix}$$

Em que: p_{ij} = valor da produção do produto i produzido no setor j; q_{ij} = valor do consumo intermediário do produto i por parte do setor j; n = número total de produtos produzidos e/ou consumidos; m = número total de setores produtivos.[58]

As matrizes Q quadradas, que mostram o consumo intermediário por setor, e o vetor “dfs”, da demanda final por setor, de acordo com o sistema original de Leontief, não são usualmente apresentadas pelos órgãos estatísticos. Nesta dissertação, a obtenção da matriz Q quadrada Brasil e da Q quadrada Bahia é parte do caminho metodológico para simulação dos impactos econômicos da reciclagem mecânica e energética. Será mostrada adiante a derivação algébrica das matrizes Q quadradas do Brasil e da Bahia como parte do processo de obtenção das MRI nacional e estadual.

[58] PEREIRA (2008).

Tabela 13 - Valores das Contas Regionais: VBP, CI e VA do estado da Bahia, em 2009.

Nº do setor	Setor	VBP original	CI original	VA original
S1	Agricultura, silvicultura, exploração florestal	10.363,19	3.296,83	7.066,37
S2	Pecuária e pesca	3.376,47	1.068,30	2.308,17
S3	Petróleo e gás natural	1.681,51	945,09	736,42
S4	**Outros da indústria extrativa**	**1.803,77**	**1.250,28**	**553,49**
S5	Alimentos e Bebidas	8.879,41	7.588,56	1.290,85
S6	Produtos do fumo	78,47	57,44	21,03
S7	Têxteis	813,59	611,84	201,75
S8	Artigos do vestuário e acessórios	851,23	488,76	362,47
S9	Artefatos de couro e calçados	1.705,88	1.065,98	639,90
S10	Produtos de madeira - exclusive móveis	156,07	86,09	69,99
S11	**Celulose e produtos de papel**	**3.385,89**	**2.030,63**	**1.355,26**
S12	Jornais, revistas, discos	143,86	68,09	75,77
S13	Refino de petróleo e coque	19.688,71	15.839,80	3.848,91
S14	Álcool	71,41	49,92	21,49
S15	Produtos químicos	12.871,88	9.866,39	3.005,50
S16	**Fabricação de resina e elastômeros**	**2.279,05**	**1.763,50**	**515,55**
S17	Produtos farmacêuticos	43,90	32,60	11,30
S18	Defensivos agrícolas	971,00	786,68	184,32
S19	Perfumaria, higiene e limpeza	238,41	169,51	68,89
S20	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	37,40	27,66	9,74
S21	Produtos e preparados químicos diversos	190,25	142,06	48,20
S22	Artigos de borracha e plástico	3.705,37	2.636,69	1.068,68
S23	Cimento	189,67	122,09	67,58
S24	Outros produtos de minerais não-metálicos	820,06	502,74	317,32
S25	Fabricação de aço e derivados	1.455,83	1.024,64	431,19
S26	Metalurgia de metais não-ferrosos	5.130,75	2.053,23	3.077,52
S27	Produtos de metal - exclusive máquinas e equipamentos	1.048,62	543,74	504,87
S28	Máquinas e equipamentos, inclusive manutenção e reparos	764,24	320,58	443,66
S29	Eletrodomésticos	407,56	302,35	105,21
S30	Máquinas para escritório e equipamentos de informática	1.942,95	1.558,56	384,39
S31	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	634,27	431,50	202,78
S32	Material eletrônico e equipamentos de comunicações	260,60	181,08	79,53
S33	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar, medida e óptico	60,83	24,83	36,00
S34	Automóveis, camionetas e utilitários	5.310,28	4.793,61	516,67
S35	Peças e acessórios para veículos automotores	1.554,21	1.092,51	461,70
S36	Outros equipamentos de transporte	14,22	10,94	3,28
S37	Móveis e produtos das indústrias diversas	611,25	411,89	199,35
S38	Produção e distribuição de eletricidade, gás, água, esgoto e limpeza urbana	9.744,43	4.973,65	4.770,78
S39	Construção civil	16.422,44	7.293,06	9.129,38
S40	Comércio e Manutenção e reparação	24.119,57	7.304,59	16.814,98
S41	Transporte, armazenagem e correio	11.713,33	5.942,87	5.770,46
S42	Serviços de informação	5.639,31	3.091,67	2.547,65
S43	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar e serviços relacionados	7.528,42	2.636,01	4.892,40
S44	Atividades imobiliárias e aluguéis	10.918,43	929,84	9.988,59
S45	Serviços de alojamento e alimentação	6.750,39	2.956,44	3.793,96
S46	Serviços prestados às empresas	6.758,21	1.877,26	4.880,95
S47	Educação e Saúde mercantil	6.191,01	2.599,38	3.591,63
S48	Serviços prestados às famílias e associativas e serviços domésticos	6.756,55	2.335,29	4.421,27
S49	Administração Saúde e Educação Públicas e seguridade social	30.469,25	9.949,95	20.519,30
	Total	**236.553,42**	**115.136,97**	**121.416,44**

Fonte: Dados da pesquisa, 2014, a partir de Brasil (2009-b; 2009-c; 2009-d) e Silveira (1993).