

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE GEOGRAFIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GEOGRAFIA E GESTÃO DO TERRITÓRIO**

**TRATAMENTO ALTERNATIVO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Uma  
proposta para a cidade de Uberlândia – MG.**

**CAROLINE FERREIRA DE MORAIS**

**UBERLÂNDIA – MG.  
2013**

**CAROLINE FERREIRA DE MORAIS**

**TRATAMENTO ALTERNATIVO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Uma  
proposta para a cidade de Uberlândia – MG.**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito à obtenção do título de mestre em Geografia.

***Área de Concentração:*** Geografia e Gestão do Território.

***Linha de Pesquisa:*** Análise, Planejamento e Gestão dos Espaços Rural e Urbano.

***Orientadora:*** Marlene Teresinha de Munhoz Colesanti.

**Uberlândia - MG  
Instituto de Geografia  
2013**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

**Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.**

---

F316p20 Morais, Caroline Ferreira de, 1983-  
13 Tratamento alternativo para resíduos sólidos urbanos: uma  
proposta para a cidade de Uberlândia – MG./ Caroline Ferreira deMorais.--  
2013.  
120f. : il.

Orientadora: Marlene Teresinha de Muno Colesanti.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Uberlândia, Progra-  
ma de Pós-Graduação em Geografia.  
Inclui bibliografia.

1. Geografia - Teses. 2. Resíduos sólidos urbanos - Teses. 3.  
ProjetoNatureza Limpa - Teses. I.Colesanti, Marlene Teresinha de Muno.  
II.Universidade Federal de Uberlândia. Programa dePós-Graduação em  
Geografia. III. Título.

CDU: 910.1

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
Programa de Pós-Graduação em Geografia



CAROLINE FERREIRA DE MORAIS

TRATAMENTO ALTERNATIVO PARA RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS: Uma proposta para a cidade de Uberlândia - MG

---

Professora Dr<sup>a</sup>. Marlene T. de Munhoz Colesanti - UFU

---

Professora Dr<sup>a</sup>. Valéria Guimarães de F. Nehme – IFTM

---

Professora Dr<sup>a</sup>. Gelze Serrati de Souza C. Rodrigues - UFU

Data: 17 / 04 de 2013

Resultado: Aprovada com distinção

Dedico ao meu irmão Sandokan,  
por acreditar em mim.

## AGRADECIMENTOS

Ao agradecer é sempre importante lembrar que o presente é resultado de um passado, o qual, às vezes, com o tempo nos é apagado da memória alguns rostos e nomes, sendo assim agradeço a todos aqueles que de alguma forma me influenciaram direta ou indiretamente contribuindo para a minha formação como pessoa e como profissional. É importante lembrar não somente dos que nos apoiam, mas também daqueles que nos desafiaram, pois é no desafio que nos é testada a persistência e a disciplina.

Agradeço a Deus e a todos os amigos espirituais que me acompanham, sempre, emitindo boas energias e boas ideias.

À minha mãe que mesmo estando em um campo longe da minha visão, sinto suas preces perenes descerem sobre mim.

À amiga, professora e orientadora Marlene Colesanti, por me orientar desde a graduação, se preocupar comigo demonstrando carinho e atenção, por me presentear com mais de 50 livros, que um dia espero ler tudo. Obrigada pelos votos de confiança que para mim são impagáveis.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), responsável por financiar e incentivar minha pesquisa.

À professora Valéria Nehme por, durante tanto tempo, ceder gentilmente ao convite de fazer parte da minha trajetória acadêmica, me auxiliando com dedicada atenção. Obrigada pela disposição e pelo delicioso sorriso que sempre traz junto a você.

À professora Gelze Rodrigues, pelo acompanhamento oferecido, pelo direcionamento de ideias e por todas as atitudes solícitas que me prestou.

À professora Beatriz Soares a frase de incentivo que jamais esquecerei “Se você quer mudar o mundo, então você vai mudar!”.

Ao meu querido irmão Sandokan, a quem dedico este trabalho, por acreditar nas minhas ideias, por me incentivar e, principalmente por me auxiliar nas pesquisas. Obrigada por colaborar para a minha “tempestade de ideias”.

Ao meu pai João pelas orações e pela fé de sempre.

Às minhas primas Kellen Ramos, Isabela Ramos, Érika Almeida, Ester Santos, Maria das Graças por acreditarem em mim.

Aos meus padrinhos Ana Helena Ramos e Vicente Ramos pelo amor e carinho.

À minha querida amiga Aline Batista, porque, sem ela, eu nunca teria conseguido. Obrigada por ser uma pessoa de ação e ter me auxiliado em tudo que eu precisei, sempre me motivando, sempre ao meu lado.

Às minhas queridas irmãs de alma Anna Klycia Motta e Dênia Hilda, que fazem parte da minha família de afinidade constituída. Obrigada por nunca me deixarem desistir dos meus sonhos.

Aos meus grandes amigos, sempre presentes, Danilo Santana, Pierre Rodrigues, Igor Teixeira, Mário Lúcio, Carla Damas, Larissa Júlio, André Felipe, Priscila Geórgia, Ana Paula Rios, Edd Figueiredo e Thayer Rosário pelo apoio e amizade.

Às minhas queridas amigas Christina Sustrunk e Márcia Cristina que mesmo distantes, continuam constantes em carinho e atenção.

Às minhas amigas Bruna Carolina e Fernanda Freitas que recentemente começaram a compor uma parte importante da minha vida.

Ao meu ex-namorado Rodrigo de Oliveira, pelo estímulo, amor e companheirismo, mas que infelizmente, no momento em que mais precisei, ele não esteve ao meu lado. Obrigada por me mostrar que consigo ser mais forte do que pensei.

Aos meus amigos Adairlei Silva, Marcus Vinícius Benachio, Mirna Karla, Tatiana Diniz pela troca de experiências, pelo apoio e amizade.

À equipe da Prefeitura Municipal de Uberlândia que disponibilizou seu tempo e atenção na prestação de informações, especialmente, Beth Nascimento, Leliza Bernardes, Gaspar, Luciana Castro, Maria do Rosário, Mônica e a ex-secretária de meio ambiente Raquel Mendes.

À equipe da Limpebrás, em especial, Mariana Cunha, pelas informações prestadas.

À equipe da empresa TJMC Empreendimentos pela informações referentes ao Projeto Natureza Limpa, em especial, ao Mário Martins a atenção e hospitalidade prestadas durante a estada em Unaí. E ao professor Dr. Jean-Marie Lambert pela empolgação em ajudar com minha pesquisa.

À toda maravilhosa equipe do Instituto Ipê Cultural, particularmente, ao Antônio Pedro pelo empréstimo de ideias verdes.

Aos professores Wilson Shimizu (UFU), Euclides Lima (UNIUBE) e Manfred Fehr (UFU) por se mostrarem sempre solícitos às minhas dúvidas sobre a pesquisa.

Aos professores Daltro Pinatti (USP), Luciano Oliveira (UFRJ), Valma Barbosa (UTFPR) e Pedro Ramos (UTFPR) pelas informações e direcionamento de ideias.

À Coordenação da Pós-graduação pelas informações e orientações necessárias, em especial, ao João Fernandes.

À Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM) e ao Ministério de Meio Ambiente (MMA) a prestação de informações específicas necessárias ao trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos acompanhados de energias positivas e orações pela minha eterna gratidão.

*O ambiente é a natureza externalizada, as identidades desterritorializadas; o real negado e os saberes subjugados pela razão totalitária, o lógos unificador, a globalidade homogeneizante, a lei universalizante, a ecologia generalizada.*

*Enrique Leff (2010)*

## **RESUMO**

O aterro sanitário é o principal meio de disposição final para os resíduos sólidos urbanos de Uberlândia, mesmo com o início da coleta seletiva na cidade. Alternativas, além das que estão em desenvolvimento no município, precisam ser pensadas já que o aterrramento é uma opção com grandes impactos ao meio ambiente. Sendo assim, essa pesquisa tem como objetivo desenvolver uma proposta para a cidade de Uberlândia com uma nova alternativa de tratamento de resíduos sólidos urbanos que não priorize o seu aterrramento e que traga maiores ganhos socioambientais. A metodologia consistiu em trabalhos de campo, levantamentos bibliográficos e referenciais, o qual baseou a elaboração da proposta com a adoção da tecnologia do Projeto Natureza Limpa, desenvolvido por uma empresa particular, localizada no município de Unaí – MG. A escolha da tecnologia teve como requisitos aquela que não priorizasse o aterrramento de resíduos sólidos urbanos em seu processo, eliminando o mínimo de gases tóxicos e de efeito estufa, sem diminuir, ainda, a biomassa disponível, ou seja, devolvendo para o ciclo produtivo todo aquele resíduo que possa ser reaproveitado em outros processos de recuperação energética. Portanto, os resultados são diminuição de emissões de gases de efeito estufa, aproveitamento do potencial energético da biomassa, retorno de matéria-prima ao mercado produtivo e ainda diminuição ou extinção de impactos ambientais decorrentes da má disposição dos resíduos. Consequentemente, os ganhos sociais se pautam na melhoria da saúde ambiental e o uso pela governança municipal de saldos creditícios positivos em benefício comum.

**Palavras chave:** resíduos sólidos urbanos; recuperação energética; socioambientais; Projeto Natureza Limpa.

## **ABSTRACT**

The landfill is the main means of final disposal for urban solid waste from the municipality of Uberlândia, even with the beginning of selective collection in the city. Alternatives, beyond those which are under development in the municipality, must be thought of as the grounding is an option with large impacts on the environment. Therefore, this research aims to develop a proposal for the city of Uberlândia with a new alternative for treating urban solid waste that doesn't prioritize its grounding and brings greater socio-environmental gains. The methodology consisted of field work, bibliographic surveys and references, which was based on the preparation of the proposal with the adoption of technology in Nature Clean Project (Projeto Natureza Limpa), developed by a private company, located in the municipality of Unaí - MG. The choice of technology had requirements as to not prioritize the grounding of urban solid waste in its process, eliminating the least toxic gases and greenhouse effects, without diminishing, though, the available biomass, in other words, returning to the whole production cycle the one residue which can be reused in other processes of energy recovery. Therefore, the results are reduction of emissions of greenhouse gases, use of the energy potential of biomass, return to productive market and still decrease or elimination of environmental impacts caused by poor waste disposal. Consequently, the social gains are guided in improving environmental health and municipal governance for the use of positive credit balances for the common benefit.

**Keywords:** urban solid waste; energy recovery; socio-environmental; Nature Clean Project.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1 – Fluxograma Metodológico</b>	<b>25</b>
<b>Figura 2 - Classificação dos resíduos sólidos</b>	<b>27</b>
<b>Figura 3 - Composição gravimétrica dos RSU no Brasil</b>	<b>30</b>
<b>Figura 4 - Média da composição gravimétrica da coleta seletiva no Brasil</b>	<b>31</b>
<b>Figura 5 – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos</b>	<b>33</b>
<b>Figura 6 - Logística Reversa – Áreas de atuação e etapas reversas.</b>	<b>34</b>
<b>Figura 7 - Lixão a céu aberto.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 8 - Esquema de aterro controlado.</b>	<b>38</b>
<b>Figura 9 - Corte esquemático de um aterro sanitário</b>	<b>40</b>
<b>Figura 10 - Aterro Municipal de Uberlândia, set. 2010.</b>	<b>40</b>
<b>Figura 11 - Fatores que influenciam na compostagem.</b>	<b>42</b>
<b>Figura 12 - Ciclo da reciclagem</b>	<b>43</b>
<b>Figura 13 - Ciclo de reciclagem do vidro</b>	<b>44</b>
<b>Figura 14 - Fluxo da reciclagem da lata de alumínio.</b>	<b>45</b>
<b>Figura 15 - Código de cores para os diferentes tipos de resíduos.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 16 - Estrutura de identificação do Ecoponto localizado no bairro Luizote de Freitas em Uberlândia.</b>	<b>47</b>
<b>Figura 17 - Galpão de Triagem da cooperativa CORU no bairro Jardim Brasília em Uberlândia.</b>	<b>48</b>
<b>Figura 18 - Esquema de usina de incineração.</b>	<b>50</b>
<b>Figura 19 - Reator pirolítico</b>	<b>53</b>
<b>Figura 20 - Esquema de usina de transformação anaeróbica.</b>	<b>55</b>
<b>Figura 21 - Tubulações para captação de gases no aterro de Uberlândia – MG.</b>	<b>57</b>
<b>Figura 22 - Análise comparativa dos impactos ambientais das tecnologias.</b>	<b>58</b>
<b>Figura 23 - Reator Piloto 1m<sup>3</sup> (300kg/reação)</b>	<b>60</b>
<b>Figura 24 - Fluxograma de processos do sistema BEM</b>	<b>60</b>
<b>Figura 25 - Diagrama de fluxo de uma planta de energia a partir de RSU baseada na tecnologia de gaseificação.</b>	<b>62</b>
<b>Figura 26 - Processos de conversão energética da biomassa</b>	<b>64</b>
<b>Figura 27 - Layout do sistema de reciclagem/carbonização.</b>	<b>67</b>

<b>Figura 28</b> - Briquetes de carvão	68
<b>Figura 29</b> - Reator pirolítico.	68
<b>Figura 30</b> - Esquema das fases preparatórias do processo de compostagem para produção de fertilizantes.	69
<b>Figura 31</b> - Matéria prima oriunda da agroindústria	70
<b>Figura 32</b> - Esquema das etapas preparatórias da fabricação de agregados de cimento.	71
<b>Figura 33</b> - Esquema das etapas da produção de agregados de cimento.	72
<b>Figura 34</b> - Amostragens obtidas através da chaminé de combustão de briquetes	73
<b>Figura 35</b> - Geração de RSU no Brasil.	75
<b>Figura 36</b> – Municípios com coleta seletiva no Brasil.	76
<b>Figura 37</b> - Regionalização dos municípios com coleta seletiva no Brasil.	76
<b>Figura 38</b> - Destino final dos RSS coletados pelos municípios.	77
<b>Figura 39</b> - Municípios segundo a destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.	78
<b>Figura 40</b> - Quantidade de RSU gerados por região e Brasil.	79
<b>Figura 41</b> - Quantidade de municípios por tipo de disposição adotada.	79
<b>Figura 42</b> - Recursos aplicados na coleta de RSU.	80
<b>Figura 43</b> - Coleta e geração de RSU no Estado de Minas Gerais.	82
<b>Figura 44</b> - Mapa da área urbana do município de Uberlândia.	85
<b>Figura 45</b> – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Uberlândia.	87
<b>Figura 46</b> - Folheto informativo da coleta seletiva municipal.	88
<b>Figura 47</b> - Caminhões da coleta seletiva	90
<b>Figura 48</b> - Total de material reciclável coletado em 2012 (Kg/Mês)	90
<b>Figura 49</b> - Material reciclável destinado às cooperativas	91
<b>Figura 50</b> - Caminhão “cata treco”	92
<b>Figura 51</b> - Fachada da cooperativa COOPER-UDI.	93
<b>Figura 52</b> - Espaço interno da cooperativa ARBE.	94
<b>Figura 53</b> - Galpão de triagem da associação de catadores ARCA	94
<b>Figura 54</b> - Materiais contaminados destinados pelas empresas às cooperativas.	96
<b>Figura 55</b> - Composição média gravimétrica dos resíduos sólidos recicláveis recebidas nas cooperativas e associações de Uberlândia, ano 2012.	97
<b>Figura 56</b> - Contêineres para a recepção de resíduos de construção e limpeza de terreno	97
<b>Figura 57</b> - Estrutura para alimentação e dessedentação de cavalos	98

<b>Figura 58</b> - Fachada de entrada do Ecoponto do bairro Morumbi	<b>99</b>
<b>Figura 59</b> - Captação do biogás no aterro sanitário	<b>100</b>
<b>Figura 60</b> - Sistema de aspiração e controle	<b>101</b>
<b>Figura 61</b> - Sistema gerador de energia elétrica	<b>101</b>
<b>Figura 62</b> - Esquema das etapas de cada usina de recepção e direcionamento.	<b>105</b>
<b>Figura 63</b> - Reator pirolítico	<b>106</b>
<b>Figura 64</b> - Estação de tratamento de efluentes líquidos	<b>106</b>
<b>Figura 65</b> - Estação de tratamento de efluentes gasosos	<b>107</b>
<b>Figura 66</b> - Material originário de podas de árvores, Ecoponto Daniel Fonseca.	<b>110</b>

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> - Número de municípios com serviço de coleta seletiva por área de abrangência	<b>82</b>
<b>Quadro 2</b> - Valor pago por serviço à Limpebrás	<b>87</b>
<b>Quadro 3</b> - Dias de atendimento do caminhão da coleta seletiva por bairro.	<b>89</b>
<b>Quadro 4</b> - Cooperativas e associações de catadores por bairro/zona.	<b>95</b>
<b>Quadro 5</b> - Quantidade de trabalhadores por cooperativa ou associação	<b>95</b>
<b>Quadro 6</b> - Zonas urbanas onde estão localizados os Ecopontos na cidade de Uberlândia.	<b>99</b>
<b>Quadro 7</b> - Localização, capacidade, mão de obra e área de implantação de cada usina de recepção e direcionamento.	<b>104</b>

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AAF – Autorização Ambiental de Funcionamento  
ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais  
ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica  
BEM – Biomassa – Energia – Materiais  
CEMIG – Companhia Energética do Estado Minas Gerais  
CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem  
CETESTB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente  
COPAM – Conselho Estadual de Política Ambiental  
DOU – Diário Oficial da União  
ECP – Equipamentos de Controle de Poluição.  
FEAM – Fundação Estadual do Meio Ambiente  
GDL – Gás De lixo  
GEE – Gases de Efeito Estufa  
GWP – Global Warming Potencial  
IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal  
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
ICB – Instituto Carbono Brasil  
ICMS – Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços  
INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia  
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas  
LEV – Locais de Entrega Voluntária  
LO – Licença de Operação  
MDL – Mecanismo de Desenvolvimento Limpo  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PET - Polietereftalato de Etileno  
PEV – Postos de Entrega Voluntária  
PGRS – Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos

PMU – Prefeitura Municipal de Uberlândia  
PNAD – Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios  
PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico  
RCE – Reduções Certificadas de Emissões  
RSS – Resíduos Sólidos de Saúde  
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos  
SEDU – Secretaria Especial de Desenvolvimento Urbano da Presidência da República.  
SEMAD – Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento  
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente  
SUPRAM - Superintendência Regional de Regularização Ambiental  
UAI – Unidade de Atendimento Integrado  
UPAN – União Protetora do Ambiente Natural  
UTC – Unidade de Triagem e Compostagem

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>18</b>
<b>1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Tipos de tratamentos e tecnologias disponíveis</b>	<b>26</b>
<b>1.1 Resíduos Sólidos</b>	<b>26</b>
<b>1.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos</b>	<b>31</b>
<b>1.3 Tratamento dos resíduos sólidos urbanos</b>	<b>36</b>
<b>1.3.1 <i>Lixão</i></b>	<b>37</b>
<b>1.3.2 <i>Aterro controlado</i></b>	<b>38</b>
<b>1.3.3 <i>Aterro sanitário</i></b>	<b>39</b>
<b>1.3.4 <i>Compostagem</i></b>	<b>41</b>
<b>1.3.5 <i>Reciclagem</i></b>	<b>42</b>
<b>1.3.6 <i>Incineração</i></b>	<b>49</b>
<b>1.3.7 <i>Pirólise</i></b>	<b>52</b>
<b>1.4 Conversibilidade de energia a partir de resíduos sólidos urbanos</b>	<b>54</b>
<b>1.4.1 <i>Digestão anaeróbica acelerada</i></b>	<b>54</b>
<b>1.4.2 <i>Gás de Lixo (GDL)</i></b>	<b>56</b>
<b>1.4.3 <i>Tecnologia BEM</i></b>	<b>58</b>
<b>1.4.4 <i>Gaseificação</i></b>	<b>61</b>
<b>2 TRATAMENTO ALTERNATIVO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Projeto Natureza Limpa.</b>	<b>65</b>
<b>2.1 Projeto Natureza Limpa</b>	<b>65</b>
<b>2.1.1 <i>Reciclagem e carbonização</i></b>	<b>65</b>
<b>2.1.2 <i>Reciclagem com compostagem e produção de fertilizantes organominerais</i></b>	<b>69</b>
<b>2.1.3 <i>Fabricação de agregados de cimento para construção civil</i></b>	<b>71</b>
<b>2.1.4 <i>Avaliação dos processos de tratamento de resíduos sólidos urbanos do Projeto Natureza Limpa</i></b>	<b>72</b>
<b>2.2 Situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil</b>	<b>75</b>
<b>2.3 Resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais</b>	<b>80</b>
<b>3 PROPOSTA DE TRATAMENTO ALTERNATIVO PARA OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE UBERLÂNDIA</b>	<b>83</b>

<b>3.1</b>	<b>Cenário atual da situação dos resíduos sólidos urbanos em Uberlândia</b>	<b>84</b>
<b>3.2</b>	<b>A construção de uma nova paisagem para Uberlândia</b>	<b>102</b>
	<b>CONSIDERAÇOES FINAIS</b>	<b>112</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>114</b>

## INTRODUÇÃO

A busca pela sustentabilidade vem articulando vários setores da sociedade atual. A garantia de meios de sobrevivência que visem também à qualidade de vida da população é um desafio para as novas tecnologias e para a cultura dos meios de produção e consumo. Quando se fala em sustentabilidade espera-se que seu escopo atenda a três vertentes: ambiental, social e econômica. Entretanto, é importante salientar que, para se instalarem na sociedade, meios sustentáveis de sobrevivência, é necessário que eles sejam culturalmente aceitos.

Os elementos do espaço que são os homens, as firmas, as instituições, o chamado meio ecológico e as infraestruturas interagem entre si configurando-o. Cada indivíduo possui uma demanda que é respondida parte pelas firmas, as quais possuem como função essencial a produção de bens, de serviços e ideias (SANTOS, 2012).

Os resíduos sólidos são resultados da demanda de consumo de cada indivíduo ou firma e instituição, passando a fazer parte da configuração do espaço, na medida em que necessita de áreas para sua disposição, infraestrutura de coleta, força de trabalho, além de integrar atualmente parte do mercado, voltando ao ciclo produtivo na forma de matéria prima.

O consumo “depende da capacidade efetiva de aquisição, representada pela disponibilidade financeira (recursos efetivos ou créditos), mas também pela acessibilidade do bem ou do serviço demandado” (SANTOS, 2012, p. 84). Uma maior capacidade de consumo poderá consequentemente estar ligada a uma maior produção de resíduos sólidos oriundos da aquisição de mercadorias.

Quanto aos estudos referentes ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, é verificável que a composição dos resíduos sólidos pode variar de acordo com os hábitos, costumes e outros aspectos regionais. Os percentuais de matéria orgânica nas cidades mais industrializadas tendem a decrescer, ao mesmo tempo em que há uma tendência para o aumento das embalagens sejam elas de plástico, vidro ou papel. A composição pode variar também de acordo com o padrão de consumo de determinadas classes sociais (PINTO-COELHO, 2009).

Os espaços destinados para disposição dos resíduos sólidos das cidades se tornam inabitáveis posteriormente, estes espaços poderiam ser destinados a projetos de habitação para aqueles trabalhadores que ainda não possuem casa própria. Esses espaços ocupados por resíduos acarretam consequências tais como contaminação do solo e da água, desmatamento de áreas, diminuição de áreas habitáveis, emissão de gases nocivos ao meio ambiente e

doenças transmitidas por vetores que ali se desenvolvem. Esses espaços deixam então de cumprir sua função social.

A coleta e tratamento do lixo são necessidades básicas, fazem parte do essencial para a população que é o saneamento básico. Alternativas para destinação do lixo, oriundo dos espaços urbanos, devem ser estudadas com intuito de diminuir as consequências que sua má disposição pode acarretar. São necessários meios que viabilizem estruturas de menor impacto ambiental e social, trazendo ganhos à sociedade. Logo, a Geografia analisa através dos elementos do espaço com suas funções, interações e variáveis a sua organização e produção, trazendo estudos para a área de planejamento urbano, os quais contribuem na gestão dos resíduos sólidos urbanos.

No Brasil, de acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 do IBGE, o lixo produzido diariamente chegava a 259.547 toneladas por dia, sendo que 50,8 % eram dispostos em vazadouros a céu aberto (lixão), 22,5 % em aterros controlados e 27,7 % em aterros sanitários.

O Governo de Minas Gerais, por meio da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), criou, em 2003, o programa “Minas sem Lixões”, que apoia os 853 municípios mineiros na implementação de meios de disposição adequada dos resíduos sólidos urbanos, de acordo com as deliberações normativas do Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM). A meta que deveria ser cumprida até 2011 seria a erradicação dos lixões em 80 % dos municípios mineiros e a disposição final adequada de 60% dos resíduos sólidos urbanos gerados no Estado, em sistemas tecnicamente adequados e devidamente licenciados. O programa contempla ainda visitas técnicas para o acompanhamento de empreendimentos licenciados, tais como Aterro sanitário (ATE), Usina de Triagem e Compostagem (UTC) e Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Uberlândia é um município mineiro que abriga uma população de 619.536 habitantes, sendo que 594.938 habitantes constituem a população urbana (IBGE, 2012). O município possui uma unidade territorial de 4.116 Km<sup>2</sup>, a área urbana corresponde a 217 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Uberlândia está à frente de muitos outros municípios mineiros quanto à estrutura de disposição de resíduos sólidos urbanos, sendo que seu primeiro aterro sanitário opera desde julho de 1995. A cidade inaugurou, em outubro de 2010, seu segundo aterro sanitário. Conforme dados da secretaria de serviços urbanos e do núcleo operacional do aterro (2010), o primeiro aterro sanitário ocupou uma área de 15 hectares de extensão (ocupada pelos depósitos de resíduos), já o segundo, a previsão é que chegue até, no máximo, 17 hectares. A

vida útil projetada para o primeiro aterro sanitário foi de 18 anos com sua desativação prevista para 2013, entretanto, foi desativado três anos antes da estimativa. A mudança foi provocada pelo aumento da produção de resíduos sólidos no município, que cresceu aproximadamente 15% nos últimos quatro anos (PMU, 2010). O novo aterro sanitário de Uberlândia aumentou a sua capacidade de dois milhões de metros cúbicos de resíduos sólidos para 4,2 milhões. Segundo o jornal Correio de Uberlândia (2010), em uma entrevista concedida pelo gerente operacional do aterro sanitário, Heitor Eduardo Santos, o novo espaço custou R\$ 25 milhões, terá vida útil prevista de 21 anos e obedece às normas da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SEMAD) supervisionado pela Superintendência Regional de Meio Ambiente (SUPRAM) do Núcleo Regional do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Havia em Uberlândia apenas duas cooperativas para triagem de materiais recicláveis até o final do ano de 2010. Após a implantação da coleta seletiva no início do ano de 2011 até meados de 2012, mais cinco cooperativas se constituíram. Em um total de sete cooperativas ou associações estão a Associação de Catadores e Recicladores Autônomos (ARCA), Cooperativa de Recicladores de Uberlândia (CORU), Associação dos Coletores de Plástico, PET, PVC e outros Materiais Recicláveis (ACOPPPMAR), Associação dos Catadores e Recicladores de Uberlândia (ACRU), Associação dos Catadores de Material Reciclável do Bairro Taiaman (ASSOMAN), Associação dos Catadores Boa Esperança (ARBE) e Cooperativa de Reciclagem e Coleta Seletiva (COOPER-UDI). Foram construídos dois galpões de triagem, sendo um no bairro Santa Luzia e outro no bairro Jardim Brasília. As associações que foram alocadas nessas duas estruturas foram ARCA e CORU respectivamente. As demais associações estão com sedes em espaços cedidos pela prefeitura, porém com estruturas básicas insuficientes ou ausentes. Os espaços conferem galpões com estruturas precárias, há ausência de instrumentos para trabalho como esteiras, recipientes de armazenagem, espaços cobertos para separação de resíduos, entre outras necessidades. Os espaços destinados à alimentação e higiene dos trabalhadores também são deficientes.

A cidade possui dez “Ecopontos” que são pontos de entrega voluntária onde o cidadão pode levar resíduos recicláveis, de construção, de limpeza de terreno e outros. O local é equipado com contêineres que recebem resíduos principalmente de construção e limpeza de terreno que são levados, na grande maioria, por carroceiros. Os Ecopontos estão localizados respectivamente por data de implantação nos bairros Luizote de Freitas, São Jorge, Santa Rosa, Guarani, Roosevelt, Daniel Fonseca, Morumbi, São Lucas, Tocantins e Cruzeiro do Sul.

De acordo com dados do setor de Serviços Urbanos da PMU (2012), o aterro sanitário do município recebe em média 450 toneladas de resíduos por dia, o que equivale aproximadamente a 0,7 quilogramas de resíduos *per capita* dispostos no aterro diariamente.

Quanto aos resíduos sólidos de saúde, as unidades de saúde como o Hospital de Clínicas de Uberlândia da Universidade Federal de Uberlândia, as Unidades de Atendimento Integrado (UAI), os postos de saúde dos bairros e os hospitais particulares, terceirizam a empresa Sterlix Ambiental para os serviços de coleta e tratamento desses resíduos. Os resíduos sólidos de saúde são tratados através da tecnologia de autoclave e o material esterilizado e descaracterizado é enviado ao aterro sanitário (PMU, 2012; STERLIXAMBIENTAL, 2012).

A coleta seletiva iniciou-se, na cidade, no mês de janeiro do ano de 2011. O primeiro bairro a receber a coleta seletiva foi o Santa Mônica estendendo-se para outros bairros, de acordo com o planejamento realizado pela secretaria de serviços urbanos. Junto ao projeto de coleta vieram projetos de educação ambiental para as escolas, abordagens porta a porta e instalação dos Ecopontos. O projeto da coleta seletiva se estende pela cidade gradativamente, a intenção é que toda cidade seja abrangida e todo o público sensibilizado diminuindo ao máximo os resíduos que ainda estão indo para o aterro.

O aterro sanitário é o principal meio de disposição final para os resíduos sólidos urbanos de Uberlândia, mesmo com o início da coleta seletiva na cidade. Alternativas, além das que estão em desenvolvimento no município, precisam ser pensadas já que o aterrramento de resíduos sólidos é uma opção com grandes impactos socioambientais. É relevante salientar que as técnicas que priorizam o aterrramento de resíduos trazem impactos como diminuição de áreas habitáveis, contaminação do solo e de mananciais, eliminação de gases de efeito estufa, diminuição da biomassa disponível, desperdício de matéria-prima reaproveitável e, ainda, no caso de Uberlândia, o aumento do passivo ambiental referente ao primeiro aterro sanitário já desativado. Optar por rotas tecnológicas que reaproveitem os resíduos sólidos urbanos de forma a usar seu potencial como matéria prima, seu poder calorífico e ainda diminuir a contaminação e os espaços ocupados por eles é caminhar para uma proposta que vise ao bem social e ambiental.

A tendência mundial é vislumbrar o desenvolvimento sustentável, mas é necessário criar meios eficazes para isso. Criar um planejamento estratégico aplicável é fundamental. Os países precisam se reestruturar para atender a nova realidade global. As metas da Agenda 21 e os vários acordos climáticos efetivados na tentativa de melhoria do meio ambiente começam a

ficar aquém da necessidade real do planeta. E o começo dessa reestruturação, nessa rede global, poderá se iniciar das células que são os municípios.

O aumento da geração de resíduos sólidos e sua má destinação causam impactos ambientais, sociais e econômicos em níveis local, regional e global. Os valores gastos com sua manutenção, a perda de áreas habitáveis e a contaminação procedente de efluentes líquidos e gasosos são alguns dos impactos socioambientais. Quais alternativas de tratamento de resíduos poderão agregar maiores ganhos ambientais e sociais para o município?

Para que novas alternativas de tratamento de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia tenham uma boa adesão e de fato se tornem eficazes, é necessário envolvimento de todos os setores e um bom planejamento. Que tipo de proposta terá melhor funcionalidade e aplicabilidade?

Os objetivos propostos por essa pesquisa serão alcançados com a articulação do poder público, neste caso com a Prefeitura Municipal de Uberlândia, especificamente, com as Secretarias de Meio Ambiente, Planejamento Urbano, Serviços Urbanos, Educação e Desenvolvimento Social e Trabalho.

Essa dissertação tem como objetivo geral desenvolver uma proposta que correlacione uma nova alternativa de tratamento de resíduos sólidos urbanos ao programa de gerenciamento que já ocorre no município de Uberlândia. Os objetivos específicos da pesquisa englobam:

- Apresentar as tecnologias de tratamento de resíduos sólidos urbanos disponíveis no Brasil.
- Analisar a melhor alternativa tecnológica disponível que não priorize o aterramento de resíduos sólidos urbanos sendo adaptável ao escopo municipal.
- Desenvolver uma proposta de tratamento de resíduos sólidos urbanos adaptando a melhor tecnologia disponível à cidade de Uberlândia, com base no que foi pesquisado.

Essa dissertação possui três capítulos. O Capítulo I refere-se à fundamentação teórica da pesquisa, apresentam-se os conceitos de resíduos sólidos urbanos e tecnologias disponíveis para seu tratamento existentes no Brasil. No Capítulo II, discorre-se sobre a tecnologia utilizada no Projeto Natureza Limpa desenvolvida pela empresa TJMC Empreendimentos, localizada no município de Unaí no Estado de Minas Gerais e ainda sobre a situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil e no Estado de Minas Gerais. O Capítulo III refere-se à formulação de uma proposta de tratamento de resíduos sólidos urbanos para

Uberlândia, adaptando a melhor tecnologia disponível ao escopo da cidade, com base no que foi pesquisado. Por fim, são apresentadas as considerações finais sobre a pesquisa.

A consecução dos objetivos propostos foi possível mediante o levantamento e análise de referências teóricas pertinentes à temática em foco. Foram realizados trabalhos de campo nas sete cooperativas ou associações de triadores e catadores de materiais recicláveis e, também em sete Ecopontos que se encontravam edificados e estruturados em Uberlândia durante esta pesquisa. Outro trabalho de campo foi realizado na Empresa Energás Geração de Energia, localizada no município de Uberlândia, para obtenção de informações sobre a captação do metano para produção de energia elétrica. Foram feitas também duas visitas ao aterro sanitário de Uberlândia para coleta de informações visuais como fotos.

Para elaboração do capítulo II, as informações obtidas se deram através de contatos via e-mail, telefone e trabalho de campo na empresa TJMC Empreendimentos, localizada no município de Unaí no Estado de Minas Gerais. Tivemos contato direto com o coordenador do projeto Mário Martins e com o assessor científico responsável Dr. Jean-Marie Lambert da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. Este trabalho de campo objetivou o conhecimento do funcionamento das rotas tecnológicas do Projeto Natureza Limpa, sob a orientação do Coordenador Mário Martins, para a coleta de dados pertinentes à elaboração de uma proposta para cidade de Uberlândia.

Projeto Natureza Limpa foi o nome recebido pela usina piloto desenvolvida pela TJMC Empreendimentos para o tratamento de resíduos sólidos urbanos. A usina se utiliza de rotas tecnológicas como reciclagem, compostagem e pirólise. A empresa foi criada em 2005, atualmente trabalha exclusivamente no desenvolvimento e comercialização do projeto, o qual vem sofrendo adaptações e aperfeiçoamento desde sua origem em 2009, objetivando obter a Licença de Operação (LO). Este projeto foi identificado através de pesquisas na internet e, tendo atendido a expectativa preliminar, baseada no objetivo dessa pesquisa, foram realizadas análises através de um trabalho de campo, concretizado na última semana de janeiro de 2013. As análises feitas em campo, possibilitaram a escolha do projeto à elaboração de uma proposta para Uberlândia. Dessa forma, o Projeto Natureza Limpa atendeu aos seguintes elementos de escolha:

- Não prioriza o aterramento como disposição final dos resíduos sólidos urbanos.
- O projeto contempla a hibridação de rotas tecnológicas para o máximo de aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos.
- Possui a opção de geração de energia a partir da utilização do carvão produzido.

- O projeto caminha para o mínimo de descarte de resíduos sólidos, líquidos e atmosféricos em seu processo, adequando-se aos padrões de eliminação vigentes.
- É uma tecnologia adaptável ao âmbito de governança municipal.

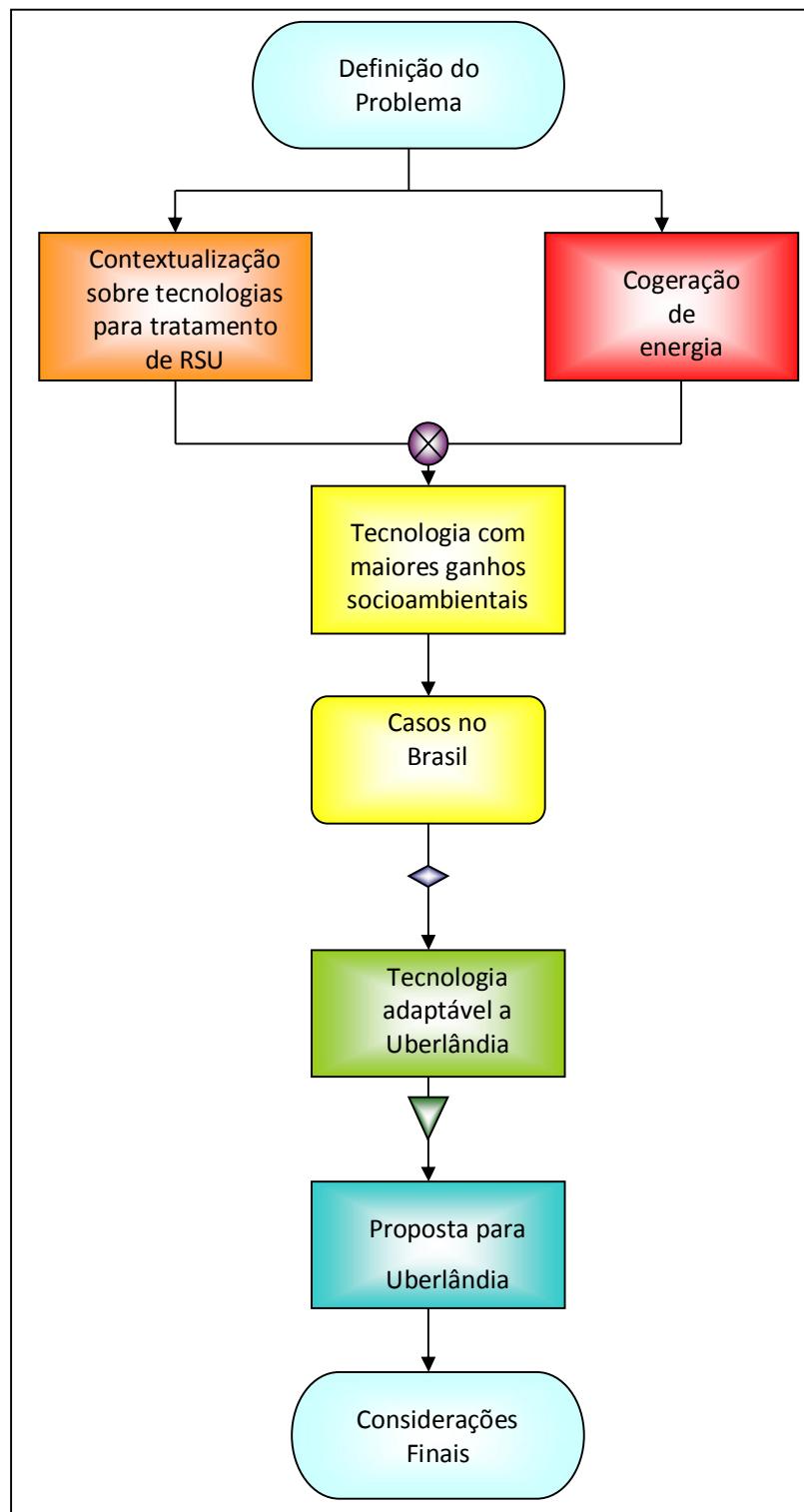
Após os trabalhos de campo e levantamentos bibliográficos e referenciais, foi elaborada uma proposta com uma nova tecnologia para tratamento de resíduos sólidos urbanos de acordo com a realidade do município de Uberlândia, levando-se em consideração as suas rotinas de gestão de resíduos.

A proposta está exposta em forma de texto dissertativo, submetido à formatação e arte final, com o auxílio de ilustrações, mapas e gráficos para melhor visualização e compreensão do conteúdo apresentado.

A cronologia das etapas de elaboração da dissertação, com as etapas necessárias para o desenvolvimento da pesquisa, ocorreu nos períodos estabelecidos pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Uberlândia – MG, sendo executada conforme cronograma.

A Figura 1 representa o fluxograma com a metodologia adotada para a elaboração da dissertação.

**Figura 1 – Fluxograma Metodológico.**



Fonte: MORAIS, 2013.

## **1. RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Tipos de tratamentos e tecnologias disponíveis**

### **1.1 Resíduos Sólidos**

Os resíduos sólidos, comumente denominados como lixo, são aqueles oriundos de atividades humanas, considerados sem importância econômica ou afetiva para aquele indivíduo que o descarta.

A Norma Técnica NBR - 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), define resíduos sólidos "como sendo aqueles no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços, de varrição e agrícola".

Segundo Monteiro et al. (2001), resíduo sólido ou lixo é “todo material sólido ou semi-sólido indesejável e que necessita ser removido por ter sido considerado inútil por quem o descarta, em qualquer recipiente destinado a este ato.” (2001, p.25).

O Artigo 3º capítulo II da Lei Federal nº 12.305 de 2010, dispõe mais especificamente que resíduos sólidos é:

Todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólidos e semissólidos, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

**Os titulados como rejeitos são aqueles**

resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (*Op. cit.*).

Os resíduos sólidos possuem características e composições distintas de acordo com sua origem. Existem leis e normas que regulamentam os resíduos quanto a sua classificação, natureza ou origem, periculosidade, características físicas, químicas e biológicas, as quais se interpretam de forma variada nos âmbitos federais, estaduais e técnicos normativos.

A Lei Federal 12.305 classifica os resíduos quanto:

- a) À origem: domiciliares; de limpeza urbana; urbanos (domiciliares e limpeza urbana); de estabelecimento comerciais e prestadores de serviços; dos serviços públicos de saneamento básico; industriais; de serviços de saúde; da construção civil; agrossilvopastoris; de serviços de transportes; de mineração.

b) À periculosidade: perigosos e não perigosos.

Conforme o item “a” acima mencionado, constituem resíduos sólidos urbanos aqueles que são de origem domiciliar e de limpeza urbana, resíduos dos quais serão objetos desta pesquisa.

Segundo a Norma Técnica NBR - 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), a classificação dos resíduos ocorre em dois grupos:

- a) Resíduos classe I – Perigosos: aqueles que apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- b) Resíduos classe II – Não perigosos, dentre esses:
  - Resíduos classe II A – Não inertes: que podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
  - Resíduos classe II B – Inertes: aqueles que não “tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor”.

A Figura 2 mostra a classificação dos resíduos sólidos, segundo o IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas e o CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem.

**Figura 2 - Classificação dos resíduos sólidos**

CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	
QUANTO À NATUREZA FÍSICA	Secos Molhados
QUANTO À COMPOSIÇÃO QUÍMICA	Matéria Orgânica Matéria Inorgânica
QUANTO AOS RISCOS POTENCIAIS AO MEIO AMBIENTE	Resíduos Classe I – Perigosos Resíduos Classe II – Não perigosos: Resíduos classe II A – Não Inertes Resíduos classe II B – Inertes
QUANTO À ORIGEM	Doméstico Comercial Público Serviços de Saúde Resíduos Especiais Pilhas e Baterias Lâmpadas Fluorescentes Óleos Lubrificantes Pneus Embalagens de Agrotóxicos Radioativos Construção Civil / Entulho Industrial Portos, Aeroportos e Terminais Rodoviários e Ferroviários Agrícola

Fonte: IPT/ CEMPRE, 2000.

A análise dos resíduos sólidos pode ser feita conforme suas características físicas, químicas e biológicas. Essas características “podem variar em função de aspectos sociais,

econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, os mesmos fatores que também diferenciam as comunidades entre si e as próprias cidades” (MONTEIRO et al. p. 36, 2001).

As características físicas dos resíduos sólidos podem ser classificadas de acordo com (*Op. cit.*):

- Geração per capita;
- Composição gravimétrica;
- Peso específico aparente;
- Teor de umidade;
- Compressividade.

As características químicas podem ser classificadas em (*Op. cit.*):

- Poder calorífico;
- Potencial hidrogeniônico (pH);
- Composição química;
- Relação carbono/nitrogênio (C:N).

As características biológicas dos resíduos sólidos

[...] são aquelas determinadas pela população microbiana e dos agentes patogênicos presentes no lixo que, ao lado das suas características químicas, permitem que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final mais adequados. (MONTEIRO et al., 2001, p.36).

Segundo Bidone e Povinelli (1999), a composição física apresenta as porcentagens, geralmente em peso, das várias frações dos materiais constituintes dos resíduos. Já a composição química está relacionada, principalmente, a seus componentes orgânicos e englobando, sobretudo

[...] a quantificação de parâmetros como carbono, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, cobre, zinco, ferro, manganês, sódio e enxofre, que compõem o elenco básico de macro e micronutrientes, a relação C/N, o pH e as concentrações de sólidos totais, fixos e voláteis (BIDONE; POVINELLI, p.14, 1999).

Os aspectos microbiológicos dos resíduos sólidos estão, sobretudo, “relacionados à fração orgânica que os compõem, posto que a sua reciclagem pode se realizar por meio da decomposição biológica” (BIDONE; POVINELI, p.15, 1999). A decomposição da fração orgânica de uma dada massa de resíduos pode se dar por processo aeróbico ou anaeróbico. A decomposição aeróbica é muito mais rápida do que a anaeróbica, esta última pode ainda atribuir efeito estético indesejado e toxicidade (*Op. cit.*).

Definir resíduos sólidos urbanos (RSU) não é uma tarefa fácil, “pois sua origem e formação estão ligadas a inúmeros fatores, tais como: variações sazonais, condições

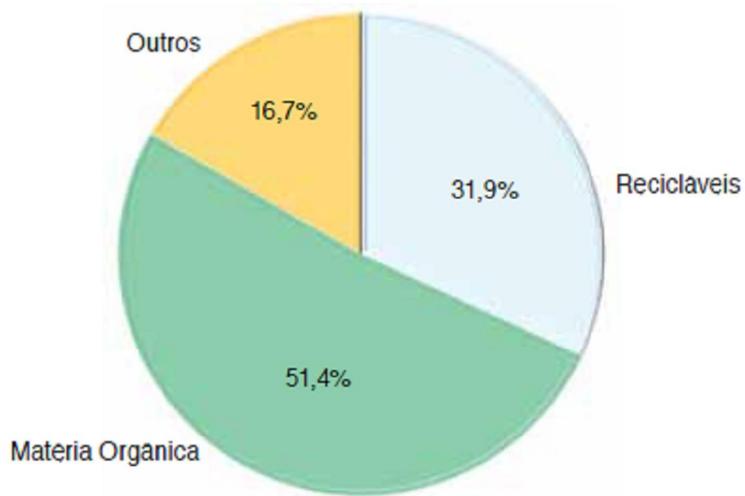
climáticas, hábitos e costumes, variações na economia etc.” (LIMA, 2004 p. 11). Segundo Lima (2004), vários fatores influenciam a origem e formação do lixo no meio urbano “e a distinção destes mecanismos é uma tarefa complexa e de difícil realização” (p.11). No entanto alguns fatores podem ser citados (*Op. Cit*):

- Número de habitantes do local;
- Área relativa de produção;
- Variações sazonais;
- Condições climáticas;
- Hábitos e costumes da população;
- Nível educacional;
- Poder aquisitivo;
- Tipo de equipamento de coleta;
- Segregação na origem;
- Sistematização da origem;
- Disciplina e controle dos pontos produtores;
- Leis e regulamentações específicas.

A Lei Federal 12.305 classifica quanto à origem urbana aqueles resíduos oriundos de domicílios e de limpeza urbana. Os resíduos sólidos domiciliares são aqueles provenientes de atividades domésticas em residências urbanas. E os resíduos sólidos de limpeza urbana são aqueles procedentes da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas dentre outros serviços de limpeza urbana. Portanto, segundo esta mesma lei, os resíduos sólidos urbanos se constituem do conjunto dos resíduos sólidos domiciliares com os de limpeza urbana.

A composição dos resíduos sólidos urbanos consiste em sua maior parte de matéria orgânica e a outra parte significativa é composta por materiais recicláveis. O percentual de cada componente em relação ao peso total do lixo é denominado de composição gravimétrica (AMBIENTEBRASIL, 2012). Na Figura 3 é apresentada a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil. Entretanto, a composição é bastante diversificada nas diferentes regiões do Brasil, uma vez que está diretamente relacionada com características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local.

**Figura 3 - Composição gravimétrica dos RSU no Brasil**

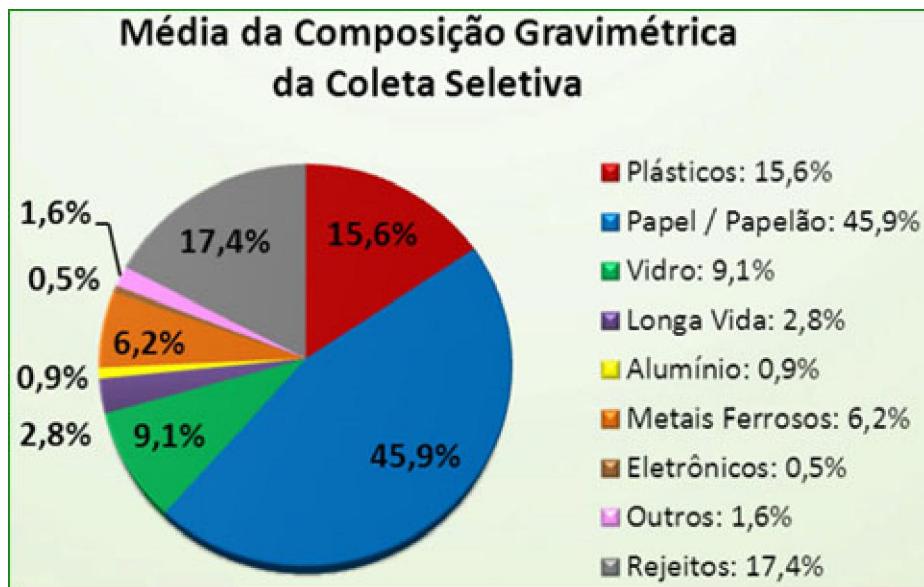


Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão pós Audiências e Consulta Pública para Conselhos Nacionais, 2011.

Verifica-se que a maior parte do material coletado (51,4%) consiste de matéria orgânica, resíduo que possui poder calorífico passível de exploração. A menor quantidade coletada (16,7%) consiste de rejeitos, ou material ainda não passível de exploração por tecnologias disponíveis, ou ainda de resíduos sem valor comercial.

Os 31,9% dos materiais recicláveis coletados no Brasil consistem basicamente de plásticos, papel, papelão, vidro, embalagens longa vida, metais e eletroeletrônicos. Os resíduos sólidos recicláveis devem voltar para cadeia produtiva evitando a extração de novos recursos da natureza, seja através de coleta seletiva, separação e destinação ambientalmente adequada ou através da logística reversa. A Figura 4 ilustra a composição média gravimétrica da coleta seletiva no Brasil.

**Figura 4 - Média da composição gravimétrica da coleta seletiva no Brasil**



Fonte: CEMPRE, 2012.

## 1.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos

O governo, as empresas e a sociedade civil começam a seguir uma nova linha de atuação frente à questão dos resíduos sólidos no Brasil. No ano de 2010, foi sancionada a lei federal 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, alterando a lei 9.605 de 1998 e concedendo novas providências. Essa nova lei prevê mudanças nos setores da sociedade. Tanto as empresas como o setor público deverão se articular para atender à nova política.

O Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), através do órgão consultivo e deliberativo que é o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Os atos do CONAMA competem a resoluções, moções, recomendações, proposições e decisões acerca das questões ambientais, estes atos integram a Política Nacional dos Resíduos Sólidos.

De acordo com o artigo 7º do capítulo II, Dos Princípios e Objetivos da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, são objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos:

- I - proteção da saúde pública e da qualidade ambiental;
- II - não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- III - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços;

- IV - adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais;
- V - redução do volume e da periculosidade dos resíduos perigosos;
- 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;
- VIII - articulação entre as diferentes esferas do poder público, e destas com o setor empresarial, com vistas à cooperação técnica e financeira para a gestão integrada de resíduos sólidos;
- IX - capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos;
- X - regularidade, continuidade, funcionalidade e universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos [...].
- XI - prioridade, nas aquisições e contratações governamentais, para:
  - a) produtos reciclados e recicláveis;
  - b) bens, serviços e obras que considerem critérios compatíveis com padrões de consumo social e ambientalmente sustentáveis;
- XII - integração dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- XIII - estímulo à implementação da avaliação do ciclo de vida do produto;
- 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;
- XV - estímulo à rotulagem ambiental e ao consumo sustentável.

De acordo com a Lei Federal 12.305, devem ser elaborados planos de resíduos sólidos para tornar funcional a nova legislação em várias esferas como: Plano Nacional de Resíduos Sólidos, planos estatuais, planos microrregionais e planos de regiões metropolitanas ou aglomerações urbanas, planos intermunicipais, planos municipais de gestão integrada e planos de gerenciamento de resíduos sólidos.

No que compete ao plano municipal de gerenciamento de resíduos sólidos, da mesma lei, serão priorizados, no acesso aos recursos da União, aqueles municípios que implantarem a coleta seletiva com participação de cooperativas ou outras formas de associações de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis compostas por pessoas físicas de baixa renda. E ainda torna como requisito mínimo para o plano municipal “programas e ações de educação ambiental que promovam a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos” (LEI FEDERAL, 12.305). O plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos poderá estar inserido no plano de saneamento básico desde que respeite o conteúdo mínimo previsto pela Lei 12.305.

De acordo com o artigo 3º do capítulo II Das Definições da Lei nº 12.305, entende-se por gerenciamento de resíduos sólidos como sendo

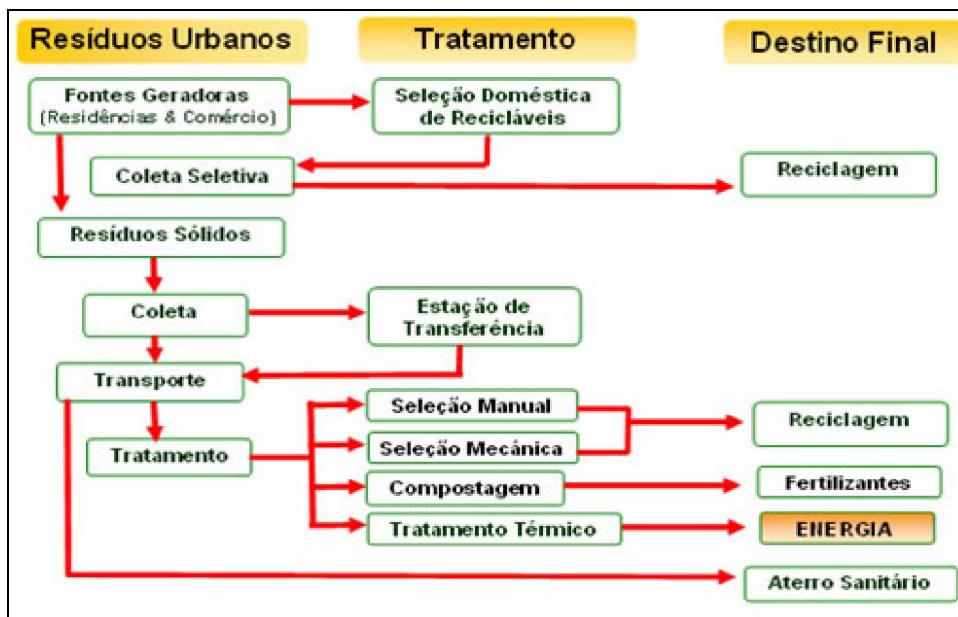
[...] um conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos [...].

O tratamento dos resíduos deve ser alinhado a uma gestão integrada que busque boas e novas tecnologias para que seja eficaz. Gestão integrada de Resíduos Sólidos é

[...] o envolvimento de diferentes órgãos da administração pública e da sociedade civil com o propósito de realizar a limpeza urbana, a coleta, o tratamento e a disposição final do lixo, elevando assim a qualidade de vida da população e promovendo o asseio da cidade, levando em consideração as características das fontes de produção, o volume e os tipos de resíduos – para a eles ser dado tratamento diferenciado e disposição final técnica e ambientalmente corretas -, as características sociais, culturais e econômicas dos cidadãos e as peculiaridades demográficas, climáticas e urbanísticas locais (MONTEIRO et al., 2001, p.8).

Segundo Tenório e Espinosa (2004), a gestão integrada de resíduos sólidos engloba o manejo, coleta, transporte, acondicionamento, tratamento e disposição final dos resíduos e os aspectos relacionados ao planejamento, à fiscalização e à regulamentação (Figura 5). Essa gestão envolve vários departamentos das prefeituras como serviços urbanos, planejamento urbano e meio ambiente, exigindo integração das partes para que a gestão proceda de acordo com a legislação vigente.

**Figura 5 – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos**



Fonte: USINAVERDE. Disponível em <<http://www.usinaverde.com.br/lixoemeioambiente.php?cod=2152313A-ACA1-D5D1-D9CF-D81528495D55>>. Acesso em: 14 jun. 2012

A responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, ainda segundo a lei federal, deve abranger os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, além dos consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos. Essa responsabilidade objetiva o incentivo à utilização de insumos de menor

agressividade ao meio ambiente e de maior sustentabilidade, com a redução da geração de resíduos sólidos, do desperdício de materiais, da poluição e dos danos ambientais, incentivando ainda as boas práticas de responsabilidade ambiental.

A obsolescência e a descartabilidade crescentes dos produtos têm-se refletido em alterações estratégicas empresariais, dentro da própria organização e principalmente em todos os elos de sua rede operacional. Estas alterações se traduzem pelo aumento de velocidade de resposta em suas operações desde a concepção do projeto do produto até sua colocação no mercado (LEITE, 2002).

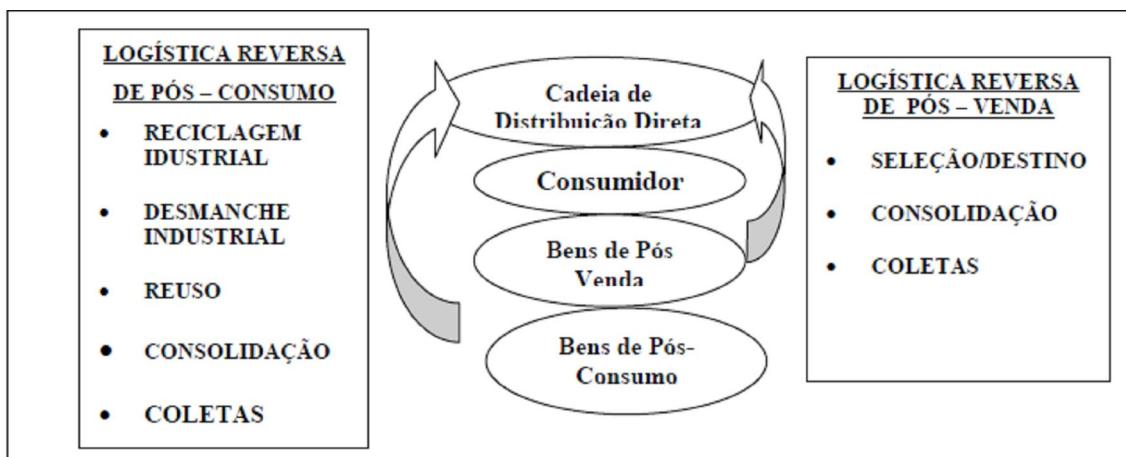
Existem possibilidades de negócios relacionados ao interesse empresarial sobre a logística reversa, as mudanças requeridas na legislação junto a requisitos exigidos por consumidores, tornam a imagem de empresas que se adaptam, mais bem vistas aos olhos do mercado.

De acordo com LEITE, 2002

Entendemos a Logística Reversa como a área da Logística Empresarial que planeja, opera e controla o fluxo, e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós - consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, através dos Canais de Distribuição Reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros (LEITE, 2002, p. 2).

A Figura 6, relaciona as etapas reversas da logística, discriminando a logística reversa de pós - consumo e a logística reversa de pós – venda, as quais “têm sido tratadas independentemente até então pela literatura, diferenciadas pelo estágio ou face do ciclo de vida útil do produto retornado” (LEITE, 2002, p. 2).

**Figura 6 - Logística Reversa – Áreas de atuação e etapas reversas.**



Fonte: LEITE, 2002.

A logística de um produto e suas etapas reversas dependem do ciclo de vida deste produto. “O ciclo nada mais é que a história do produto, desde a fase de extração das matérias-primas, passando pela fase de produção, distribuição, consumo, uso e até sua transformação em lixo ou resíduo” (RIBEIRO, et al. 2003).

Uma abordagem sistêmica é fundamental para planejar a utilização dos recursos logísticos de forma que contemple todas as etapas do ciclo do produto. Neste contexto é possível avaliar o impacto ambiental, operacional e financeiro exercido pelo produto em todo seu ciclo de vida (LACERDA, 2009).

A logística reversa se torna obrigatória para os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos, quando se tratar de produtos como: agrotóxicos com seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes com seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio, mercúrio e de luz mista; produtos eletroeletrônicos e seus componentes. O setor empresarial poderá entre outras medidas e em parcerias com o poder público implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usadas, podendo ainda disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis, atuando também junto a cooperativas de catadores e triadores de materiais. Os consumidores deverão efetuar a devolução, após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens objetos da logística reversa (LEI FEDERAL 12.305).

Visando a recuperação energética dos resíduos sólidos, poderão ser utilizadas tecnologias que tenham comprovadas sua viabilidade técnica e ambiental, a qual deve ser acompanhada de programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos, aprovado pelo órgão ambiental responsável (LEI FEDERAL 12.305). Embora o aproveitamento energético dos resíduos seja previsto na Lei Federal 12.305, ainda não foi regulamentado. Este tema é objeto das atividades do Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos, notadamente do Grupo de Trabalho de Recuperação Energética, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, que tem por objetivo propor normatização da recuperação energética de resíduos urbanos e instrumentos para sua regulamentação (MMA, 2012).

Existem incentivos fiscais, financeiros e creditícios que poderão ser instituídos pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e pelos Municípios, no âmbito de suas competências, para projetos relacionados à responsabilidade pelo ciclo de vida dos produtos, empresas dedicadas à limpeza urbana e às indústrias e entidades dedicadas ao tratamento ou outro meio de inserção de resíduos sólidos ao ciclo produtivo.

No âmbito estadual é previsto que o

[...] acesso a recursos do Estado destinados a entidades públicas municipais responsáveis pela gestão de resíduos sólidos de geração difusa fica condicionado à previsão, nos Planos de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos dos Municípios, de incentivos econômico-financeiros que estimulem a participação do gerador, do comerciante, do prestador de serviços e do consumidor nas atividades de segregação, coleta, manuseio e destinação final dos resíduos sólidos (Artigo 24, Seção III, Cap. IV, LEI ESTADUAL, 18031/2009).

Quanto à elaboração do Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, fica a cargo dos municípios e dos gerenciadores, das empresas e demais fontes geradoras de resíduos sólidos previstas em lei. Os municípios podem fazer consórcios intermunicipais para a elaboração do Plano.

### **1.3 Tratamento dos resíduos sólidos urbanos**

Destinação e disposição final diferem conceitualmente no que tange às formas como os resíduos serão tratados. No caso da destinação ambientalmente adequada é aquela que inclui a reutilização, a reciclagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas no Brasil pelos órgãos competentes, observando as normas operacionais específicas para prevenir riscos à saúde pública e à segurança, minimizando também impactos ambientais. Obedecendo também às normas dos órgãos competentes, a disposição final ambientalmente adequada, consiste na “distribuição ordenada de rejeitos em aterros” (LEI FEDERAL, 12.305, Art. 3º).

A destinação do lixo urbano sempre foi um problema para todos os municípios e para tentar minimizar, alguns métodos de destinação e processamento foram desenvolvidos. As formas de tratamento de resíduos sólidos urbanos que podem ser encontradas no Brasil compreendem a compostagem, reciclagem, incineração, pirólise, disposição em aterros controlados ou sanitários (PINTO-COELHO, 2009).

De acordo com a Fundação Estadual de Meio Ambiente (FEAM, 2011), os municípios do Estado de Minas Gerais foram classificados em quatro categorias em relação à forma de tratamento ou disposição final dos resíduos sólidos urbanos: lixão, aterro controlado, aterro sanitário e usina de triagem e compostagem.

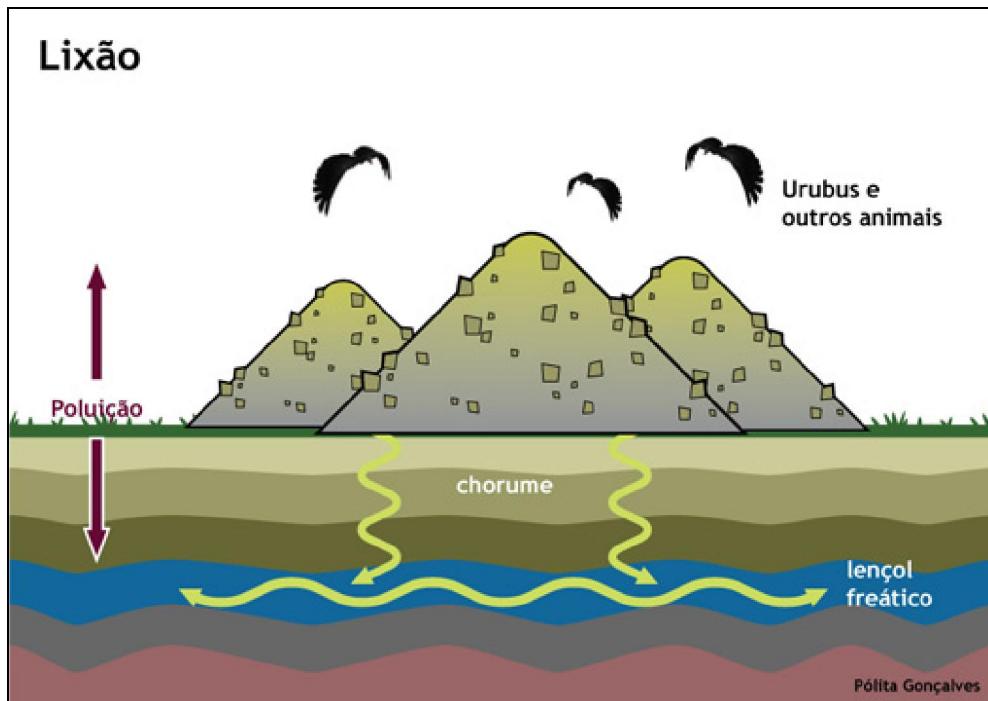
Há tratamentos que potencializam a produção de eletricidade e energia térmica, por meio da recuperação e transformação do material reciclável e da matéria orgânica contidos nos resíduos sólidos urbanos. A integração das várias tecnologias para requerer um maior

ganho ambiental merece destaque, já que todas as formas de tratamento de resíduos geram impactos ao meio ambiente.

### 1.3.1 Lixão

Nos vazadouros a céu aberto, comumente chamados de lixão, os resíduos são lançados a céu aberto sem nenhum critério técnico e, sem medidas para proteger o meio ambiente e a saúde pública, sendo uma disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos (FEAM, 2011). Esse tipo de disposição dos resíduos causa contaminação do solo e do lençol freático, além de ser atraente para vetores prejudicando a população que vive no entorno. A Figura 7 ilustra a situação encontrada nos lixões.

**Figura 7 - Lixão a céu aberto.**



Fonte: Lixo.com.br, 2012. Disponível em:  
[http://www.lixo.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=144&Itemid=251](http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=144&Itemid=251).

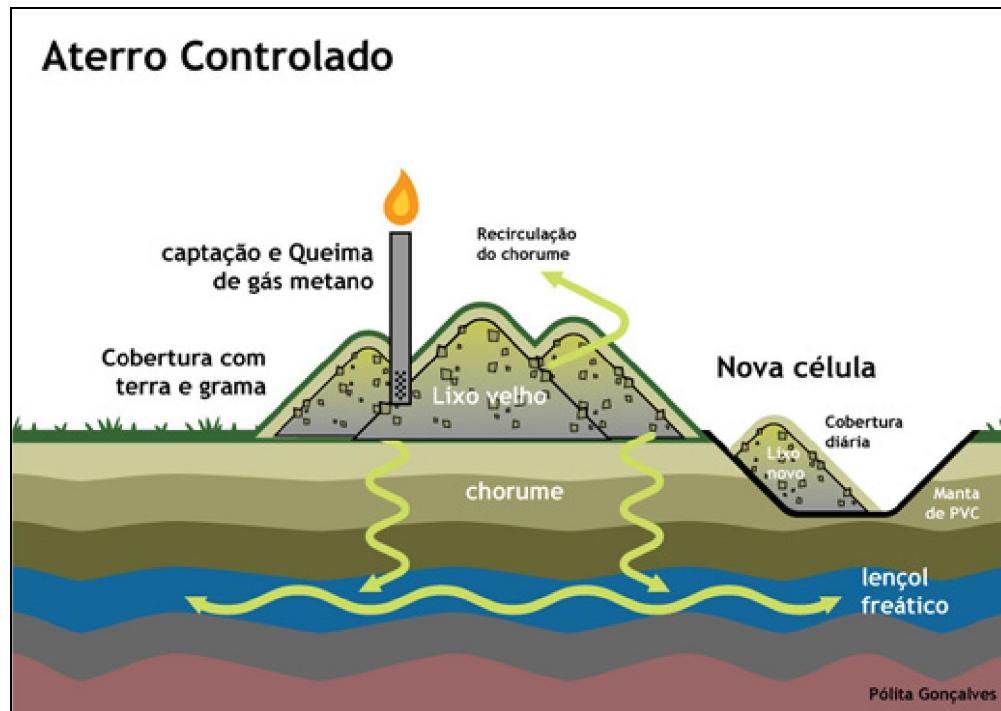
Nesse tipo de disposição, como não há nenhum monitoramento, podem ser encontrados catadores de materiais recicláveis que vivem do comércio destes para a sua sobrevivência. Em situações piores, há presença de crianças e adultos que usam restos de comida para sua alimentação. A presença de aves como os urubus é constante devido ao

processo de decomposição do lixo e o odor que exalam, além de carcaça de animais que também são jogadas junto aos resíduos.

### 1.3.2 Aterro controlado

O aterro controlado (Figura 8) consiste na disposição paliativa dos resíduos sólidos urbanos, os quais têm um certo critério de engenharia, contudo, neste tipo de destinação não existe adoção de elementos de proteção ambiental, como impermeabilização de base e laterais, coleta e tratamento dos gases e lixiviado gerados.

**Figura 8** - Esquema de aterro controlado.



Fonte:Lixo.com.br, 2012. Disponível em <[http://www.lixo.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=144&Itemid=251](http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=144&Itemid=251)>.

Este tipo de destinação é preferível ao lixão, no entanto apresenta qualidade muito inferior ao aterro sanitário (FEAM, 2011). Segundo Pinto-Coelho (2009), o aterro controlado é um avanço em relação ao lixão convencional, pois não existe mais contato físico do lixo com seres humanos, animais e insetos. Entretanto, esse tipo de aterro não possui capa impermeabilizante para reter o chorume e nem dispositivos para reter a emanação de gases. Este, ainda, pode gerar “uma substancial contaminação dos recursos hídricos do entorno e da

atmosfera caso esses efluentes não sejam continuamente monitorados e controlados” (PINTO-COELHO, 2009, p.34).

### **1.3.3 Aterro sanitário**

O aterro sanitário é uma forma de destinação dos RSU considerada adequada e segundo a ABNT, aterro sanitário significa,

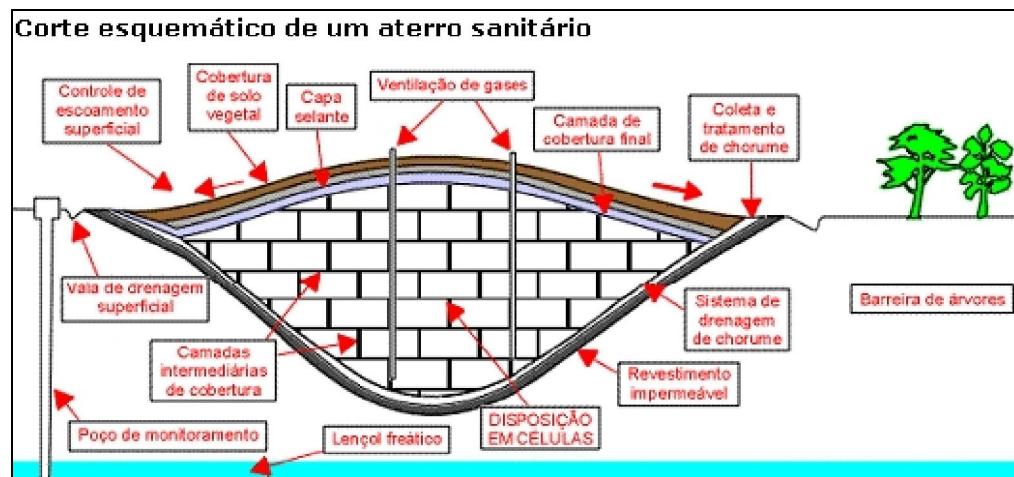
[...] disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais. Este método utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos na menor área possível e reduzi-los ao menor volume permitível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada trabalho, ou intervalos menores, se necessário (NBR 8419/1992).

Os aterros sanitários “possuem, em geral, uma vida útil de 30 anos ou mais, mas exigem consideráveis investimentos para serem construídos de modo apropriado” (PINTO-COELHO, 2009, p.34).

Os aterros sanitários possuem sistemas impermeabilizantes que impedem a contaminação do lençol freático pelo chorume. E ainda sistemas de drenagem de efluentes produzidos no processo de decomposição da matéria orgânica, basicamente drenos de gases e chorume. Os efluentes devem ser tratados posteriormente, para assim serem dispersos no ambiente, evitando problemas de saúde pública e diminuindo os danos ambientais.

O aterro sanitário é preferido universalmente devido aos custos relativamente baixos. Ainda sim, esse método possui basicamente quatro fatores limitantes: a disponibilidade de grandes áreas próximas aos centros urbanos; disponibilidade de material para a cobertura diária; condições climáticas favoráveis e recursos humanos habilitados para tal (LIMA, 2004). Na Figura 9, o esquema ilustra como se constitui um aterro sanitário, pode-se perceber, a partir dela, a evolução do aterro controlado para o sanitário.

**Figura 9** - Corte esquemático de um aterro sanitário



Fonte: Verde Vida. Disponível em: <<http://verdevida.speedlink.com.br/aterro.htm>>.

O aterro sanitário, como no caso de Uberlândia (Figura 10), mesmo sendo considerado um dos melhores do Estado de Minas Gerais, não é a solução para a destinação dos resíduos. Deveria ser a última opção, depois de esgotadas todas as possibilidades de reaproveitamento de resíduos.

**Figura 10** - Aterro Municipal de Uberlândia, set. 2010.



Fonte: Limpebrás, 2010.

### **1.3.4 Compostagem**

A compostagem é a conversão biológica da matéria orgânica e tem como produto final o composto orgânico, um material rico em húmus e nutrientes minerais (FEAM, 2011). Segundo Monteiro et al. (2001), compostagem é um processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos, de origem animal e vegetal, pela ação de microorganismos.

Nos sistemas de compostagem modernos, procura-se estimular o processo aeróbico, por ser mais rápido e isento de mau cheiro. Contudo, a classificação do processo, segundo a ação biológica, encerra três tipos de processamento, o aeróbico, o anaeróbico e o misto. A adoção do melhor processo depende de uma série de estudos que vão desde a origem e a formação dos resíduos até sua coleta e manejo (LIMA, 2004).

O processo de fazer composto orgânico de lixo doméstico é constituído de duas fases distintas: tratamento físico e tratamento biológico. No tratamento físico, o resíduo é preparado favorecendo a ação biológica. Nesta fase, o resíduo passa por um processo de triagem manual ou mecânica onde os componentes não-biodegradáveis são descartados da massa. Após, os resíduos restantes são triturados e homogeneizados. No tratamento biológico, o resíduo passa por uma fermentação ou digestão dos resíduos pela ação de microorganismos presentes ou inoculados pela adição de lodo de esgoto (LIMA, 2004).

A Trituração dos resíduos ocorre em moinhos especialmente construídos para processar lixo. A homogeneização e a fermentação são realizadas em leiras, montes ou em equipamentos específicos. A fermentação em leiras depende de fatores externos como a pluviometria e a temperatura, sendo assim, este tipo de digestão é comumente afetada e exige maior tempo. Desta forma, a fermentação dinâmica ou acelerada é preferida visto que reduz o tempo de digestão e permite o controle integral das fases de digestão. Nos digestores aeróbicos, os resíduos permanecem de 2 a 8 dias; após a digestão, o composto é transferido para o pátio de maturação onde se processa a cura, todavia, a maturação é influenciada por fatores externos e internos. A maturação pode ocorrer entre 60 e 120 dias nos processos aeróbicos, enquanto nos processos anaeróbicos o tempo de maturação excede 180 dias. O processo de compostagem conclui-se com a cura (LIMA, 2004).

O brasileiro Edmar José Kiehl *apud* LIMA 2004 classificou o processo de compostagem da seguinte forma:

- Quanto à Biologia: aeróbico; anaeróbico; misto.
- Quanto à temperatura: criofílico; mesofílico; termofílico.
- Quanto ao ambiente: aberto; fechado.

- Quanto ao processamento: estático/natural; dinâmico/acerelado.

O processo de compostagem recebe influência de inúmeros fatores, dentre os mais importantes estão: influência da temperatura; da aeração; da umidade; dos microorganismos; das dimensões das partículas; da relação carbono/nitrogênio; do empilhamento no pátio de maturação. A Figura 11, permite visualizar alguns fatores que influenciam na compostagem.

**Figura 11 - Fatores que influenciam na compostagem.**



Fonte: Saúde, Segurança do Trabalho & Meio Ambiente. Disponível em:  
<http://maesso.wordpress.com/2011/09/22/compostagem-aproveitamento-do-lixo-organico-2/>.

O controle dos fatores influentes no processo de produção do composto é imprescindível, pois um processo mal controlado pode exalar odores desagradáveis e atrair pragas urbanas causadoras de doenças, além de diminuir a qualidade do composto. Algumas das desvantagens do processo de compostagem é a grande necessidade de mão de obra ou maquinaria especializada e grandes espaços para as leiras onde ocorrem a homogeneização e a fermentação dos resíduos.

### **1.3.5 Reciclagem**

A “sociedade passou a perceber que os recursos naturais são finitos e que devemos mudar comportamentos, adotar novas tecnologias, induzindo as empresas, o governo e a sociedade em geral a adotarem a ‘economia da reciclagem’.” (PINTO-COELHO, 2009, p.20).

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas e Compromisso Empresarial para a Reciclagem (2000), o ato de produzir ou recuperar algum produto, a partir do velho é

chamado de reciclagem, fazendo com que alguns materiais presentes no lixo retornem ao ciclo como matéria-prima. A reciclagem contribui para a redução do lixo, economia de energia, água, matéria-prima e minimiza a poluição do ar, do solo e do lençol freático. Os principais materiais a serem reciclados podem ser separados em inertes: papéis, vidros, plásticos e alguns metais.

A reciclagem é um processo industrial que converte os resíduos descartados em produtos semelhantes ao inicial ou outro, pode-se chamar esse resíduo de matéria-prima secundária (Figura 12) (AMBIENTE BRASIL, 2012). O reaproveitamento dessa matéria-prima diminui a extração de recursos naturais minimizando impactos ambientais.

**Figura 12 - Ciclo da reciclagem**



Fonte: Blog Brenda Martins. Disponível em: <<http://breendamartins15.blogspot.com.br/2010/05/ciclo-da-reciclagem.html>>.

Na Figura 13, temos a reciclagem do vidro que tem um ciclo considerado ilimitado. Usando, como exemplo, a reciclagem do vidro, este processo pode minimizar a extração de areia em diversas partes do Brasil. É essencial que o setor produtivo seja envolvido para que advenha um aumento dos percentuais de reciclagem de qualquer tipo de material (PINTO-COELHO, 2009).

**Figura 13 - Ciclo de reciclagem do vidro**



Fonte: Máquinas para reciclagem. Disponível em: <<http://balbacch25.blogspot.com.br/2010/07/ciclo-de-reciclagem.html>>.

Outro exemplo de produto abundantemente usado no Brasil é alumínio.

Os principais impactos ambientais advindos da exploração da bauxita e da produção de alumínio estão ligados à degradação de grandes áreas desmatadas necessárias para a lavra de bauxita e à necessidade de um grande aporte de energia tanto sob a forma de combustíveis fósseis usados na mineração da bauxita quanto sob a forma de eletricidade usada na redução do alumínio (PINTO-COELHO, 2009, P. 157).

Esse material pode ser reciclado várias vezes, além de produzir um maior retorno financeiro devido ao preço relativamente elevado do metal (PINTO-COELHO, 2009). A reciclagem do alumínio segue fluxos diferentes, de acordo com o tipo de sucata, modificando desta forma, as fases da coleta e do retorno da sucata ao mercado (ABAL, 2012). Deve-se considerar que “a energia necessária para a produção de uma única lata de alumínio nova seria suficiente para reciclar vinte latas usadas do mesmo alumínio” (PINTO-COELHO, p. 164, 2009). Na figura 14, observa-se o fluxo da reciclagem da lata de alumínio servindo como referência para os demais produtos oriundos deste material.

**Figura 14 - Fluxo da reciclagem da lata de alumínio.**



Fonte: ABAL, 2012. Disponível em: <<http://www.abal.org.br/reciclagem/fluxo.asp>>.

O processo de reciclagem traz benefícios como:

- Diminui a poluição do solo, água e ar;
- Melhora a limpeza da cidade e a qualidade de vida da população;
- Prolonga a vida útil de aterros;
- Melhora a produção de compostos orgânicos;
- Gera empregos para a população não qualificada;
- Gera receita com a comercialização dos recicláveis;
- Estimula a concorrência, uma vez que produtos gerados a partir dos reciclados são comercializados em paralelo àqueles gerados a partir de matérias-primas virgens;
- Contribui para a valorização da limpeza pública e para formar uma consciência ecológica (AMBIENTEBRASIL, 2012).

Tanto para o processo da reciclagem quanto para outras rotas tecnológicas, os resíduos recicláveis precisam estar disponíveis, ou seja, fora da rota de aterramento ou descarte incorreto. Sendo assim, a coleta seletiva é adotada como uma opção facilitadora, para que ao menos parte dos resíduos recicláveis descartados pela população esteja disponível comercialmente.

A coleta seletiva é um processo no qual os resíduos sólidos são coletados, separados por tipo de material de acordo com as classificações e posteriormente enviados para destinação final (reutilização, reciclagem ou incineração). Aqueles rejeitos que ainda não são passíveis de algum processo de reaproveitamento serão destinados para o aterro.

A Resolução CONAMA nº 275 de 2001, publicada no DOU nº 117 – E, de 19 de junho de 2001, Seção 1, página 80 estabelece “o código de cores para os diferentes resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva.” (Figura 15).

**Figura 15** - Código de cores para os diferentes tipos de resíduos.



Fonte: Ecologia Online. Disponível em: <<http://www.ecologiaonline.com/lixeras-coloridas-facilitam-a-coleta-seletiva/>>.

Segundo Pinto-Coelho (2009), a coleta seletiva “é um sistema de recolhimento de materiais recicláveis, tais como papéis, plásticos, vidros, metais e orgânicos, previamente separados na fonte geradora.” (p.37). Os materiais separados poderão ser vendidos às indústrias de reciclagem ou aos sucateiros. As quatro principais modalidades de coleta seletiva são: domiciliar, em postos de entrega voluntária (PEV ou LEV), em postos de troca e por catadores. A coleta seletiva domiciliar assemelha-se ao procedimento de coleta

convencional dos RSU, entretanto, os veículos coletores percorrem as residências em dias e horários diferenciados impedindo de coincidir com a coleta convencional (PORTAL SÃO FRANCISCO, 2012).

Para colaborar na estrutura da coleta seletiva é importante criar os locais de entrega voluntária (LEV's) ou pontos de entrega voluntária (PEV's) que consistem “na instalação de contêineres ou recipientes em locais públicos para que a população, voluntariamente, possa fazer o descarte dos materiais separados em suas residências” (MONTEIRO et al. 2001, p. 115). Na cidade de Uberlândia, o PEV ou LEV é chamado de Ecoponto. A Figura 16, mostra a estrutura de identificação do ecoponto localizado no bairro Luizote de Freitas em Uberlândia.

**Figura 16** - Estrutura de identificação do Ecoponto localizado no bairro Luizote de Freitas em Uberlândia.



Autor: MORAIS, C.F. 2012.

As Usinas de Triagem e Compostagem (UTC's) são também estruturas colaborativas para a coleta seletiva, pois têm como objetivo separar materiais potencialmente recicláveis, matéria orgânica e os rejeitos. Os materiais recicláveis, depois de separados, são prensados, enfardados, armazenados e enviados para as usinas de reciclagem. O material orgânico poderá ser destinado à compostagem e os rejeitos, na maioria dos casos, são

depositados no aterro (FEAM, 2011). Em Uberlândia, operam os chamados “galpões de triagem”, a Figura 17, mostra um dos dois galpões criados para a separação dos materiais.

**Figura 17** - Galpão de Triagem da cooperativa CORU no bairro Jardim Brasília em Uberlândia.



Autor: MORAIS, C.F. 2012.

O tratamento de resíduos através do processo de reciclagem não é a solução para os problemas do lixo. Primeiramente é necessário tratar sobre a redução destes resíduos na sua fonte geradora. A reciclagem não pode assumir a função de compensação do risco do consumismo, mantendo o padrão convencional de consumo (LAYRARGUES, 2002). A reciclagem usa de recursos como energia, água e matéria-prima, dessa forma, movimentando ainda, grandes somas ambientais para reaproveitamento de resíduos que poderiam ser evitados na fonte.

Atualmente, programas de educação ambiental têm adotado a reciclagem como solução para a questão do lixo, desenvolvendo apenas em seus programas a coleta seletiva, “em detrimento de uma reflexão crítica e abrangente a respeito dos valores culturais da sociedade de consumo, do consumismo, do industrialismo, do modo de produção capitalista e dos aspectos políticos e econômicos da questão do lixo” (LAYRARGUES, 2002). A reciclagem de resíduos deve ser entendida como uma das últimas opções para aquele resíduo que foi inevitável ser gerado e, ainda primeiramente, ter passado pelas opções de reaproveitamento sem a necessidade de uso de energia ou outros recursos.

### **1.3.6 Incineração**

Desde o início do século XVIII, a incineração vem sendo utilizada para processar os resíduos sólidos. Gripp (1998) define as usinas de incineração de resíduos como um conjunto das instalações necessárias para viabilizar o tratamento térmico dos resíduos e que em função do tipo de combustível a ser incinerado, do volume e da tecnologia utilizada, podem apresentar diversas concepções.

Segundo Menezes et al. (2000), no Brasil o primeiro incinerador, estava localizado em Manaus e foi instalado em 1896, para processar 60 toneladas de lixo por dia e foi desativo em 1958, devido a problemas em sua manutenção. Em Belém, pelos mesmos motivos, um equipamento similar foi desativado em 1978.

De acordo com Lima (2004), tanto os incineradores instalados em São Paulo em 1959 e 1967, em Vergueiro e Bom Retiro, quanto os primeiros incineradores municipais do Brasil, possuíam uma tecnologia antiga e não atendiam aos padrões de controle de poluição exigidos pela legislação vigente. Os incineradores construídos em prédios de vários pavimentos, que sugeriram na década de 1950, foram banidos entre os anos de 1969 e 1970, pois não possuíam controle do processo de incineração (MENEZES et al. , 2000).

Os incineradores desenvolvidos para o tratamento de resíduos especiais, como: aeroportuários, hospitalares, industriais e outros perigosos foram instalados a partir da década de 1970. Nesta mesma fase, também, foram instalados os incineradores das indústrias químicas: Ciba (Taboão da Serra – SP), Basf (Guaratinguetá – SP), Clariant (Suzano – SP), Bayer (Belford Roxo – RJ), Cetrel (Camaçari – BA), Cinal (Marechal Deodoro – AL) e da Kompac (Fortaleza – CE), nos aeroportos internacionais do Rio de Janeiro e de Guarulhos, no Banco Central, em várias prefeituras, e o mais recente Centro de Tratamento de Resíduos Perigosos, instalado em Fortaleza, aprovado nos testes emissão, segundo as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnica) e da CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental). Estes incineradores têm capacidade de processar entre 300 kg/hora a 1,8 t/hora (HENRIQUES, 2004).

O processo de incineração é eficiente na conversão de resíduos em energia, consiste na destruição térmica realizada sob alta temperatura (900° a 1200° C) com tempo de resistência controlada e utilizada para o tratamento de resíduos de alta periculosidade, ou que necessitam de destruição completa e segura (ESSENCIS, 2012).

A incineração “tem como principal atrativo sua possibilidade de diminuir para cerca de 4% do volume total de resíduos a ser destinado ao aterro sanitário” (HENRIQUES, 2004,

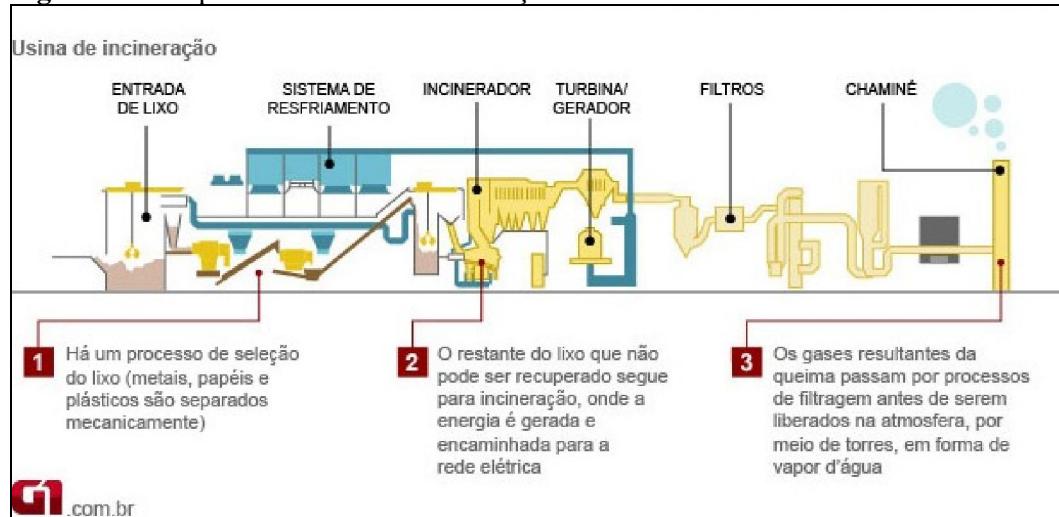
p. 106). Já de acordo com Bizzo et Goldstein (1995), o volume inicial dos resíduos é reduzido em cerca de 10%, com a utilização da incineração o que é uma vantagem no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, pois aumenta a vida dos aterros sanitários e diminui a necessidade de áreas municipais voltadas a esse fim.

As cinzas que resultam da incineração são consideradas inertes, podendo ser utilizadas na construção civil. Esse processo requer bastante controle sobre a emissão de gases que são nocivos à saúde humana. Contudo, a incineração também acarreta problemas ambientais, gerando os seguintes poluentes:

- escória oriunda do forno de incineração composta normalmente por material inerte, inorgânicos e metais;
- cinzas geradas nos equipamentos de remoção de particulados, as quais contêm material inerte de granulometria pequena, inorgânicos e metais pesados;
- resíduos, líquidos ou sólidos, a depender do tipo de processo, provenientes dos equipamentos do tratamento dos gases ácidos;
- emissões atmosféricas que são constituídas por gases como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), nitrogênio (N<sub>2</sub>) e material particulado (MP). Em menores concentrações tem-se o ácido clorídrico (HCl) e o ácido fluorídrico (HF), chamados de gases ácidos, além de metais pesados (normalmente associado ao MP) e os produtos da combustão incompleta como monóxido de carbono (CO), hidrocarbonetos, dioxinas, furanos etc. (GRIPP,1998).

A Figura 18, representa um esquema de usina de incineração de resíduos no qual é possível verificar as etapas pelas quais o resíduo sólido passa, identificando-se ainda o caminho percorrido para a geração de energia elétrica e como são tratados os gases oriundos do processo de combustão.

**Figura 18 - Esquema de usina de incineração.**



Fonte: G1.com.br. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/06/sp-vai-licitar-primeira-termelétrica-movida-lixo-do-brasil.html>>. Acesso em 19 abr 2012.

Planos de desenvolvimento para uso futuro da área; proximidades da fonte de geração do lixo e dos mercados consumidores da energia, quando for o caso; zoneamento urbano e sistema viário; acesso a um aterro adequado para a disposição das cinzas e tecnologia de incineração a ser usada, são alguns dos aspectos que devem ser analisados, quando se escolher o local da instalação de uma usina de incineração (IPT/ CEMPRE, 2000).

Os processos de incineração requerem um controle rigoroso das emissões gasosas, havendo coleta seletiva ou não. Sendo assim, deve-se usar a melhor técnica disponível no emprego de equipamentos de controle de poluição (ECP) e ainda atender aos padrões de emissão exigidos pela legislação vigente (CAIXETA, 2005).

A resolução CONAMA n.º 316/02, artigo 2º, item II, estabelece que a melhor técnica disponível refere-se ao

[...] estágio mais eficaz e avançado de desenvolvimento das diversas tecnologias de tratamento, beneficiamento e de disposição final de resíduos, bem como das suas atividades e métodos de operação, indicando a combinação prática destas técnicas que levem à produção de emissões em valores iguais ou inferiores aos fixados por esta Resolução, visando eliminar e, onde não seja viável, reduzir as emissões em geral, bem como os seus efeitos no meio ambiente como um todo.

A incineração, tanto quanto outras tecnologias, devem se adequar aos níveis de emissão de resíduos atmosféricos permitidos pelo CONAMA, adotando técnicas mais avançadas para o abatimento de gases e materiais particulados eliminados em seus processos.

Dentre as vantagens da incineração temos o uso direto da energia térmica em geração de vapor ou energia elétrica, através de uma alimentação contínua de resíduos em um processo relativamente sem ruídos e sem odores, utilizando-se pequena área para instalação. Entretanto, suas desvantagens condicionam-se aos altos custos de investimento e de operação e manutenção. Já no seu processo, o uso de resíduos de baixo poder calorífico, com excesso de umidade e resíduos clorados podem prejudicar a combustão, levando à necessidade de utilização de equipamento auxiliar para manter a combustão. E ainda, suas cinzas podem concentrar metais tóxicos. A eliminação de efluentes gasosos contendo dioxinas e furanos, que são substâncias extremamente nocivas à saúde humana, é um outro ponto negativo dessa tecnologia. A necessidade de um rigoroso monitoramento dos efluentes gasosos da incineração torna o processo custoso.

### 1.3.7 Pirólise

O processo de pirólise se baseia na decomposição física e química por ação térmica na ausência de oxigênio, a temperaturas entre 500 e 1.000 °C. A técnica tem pouca aplicação no Brasil, pois depende, ainda, do aperfeiçoamento da capacidade tecnológica nacional (PINTO-COELHO, 2009).

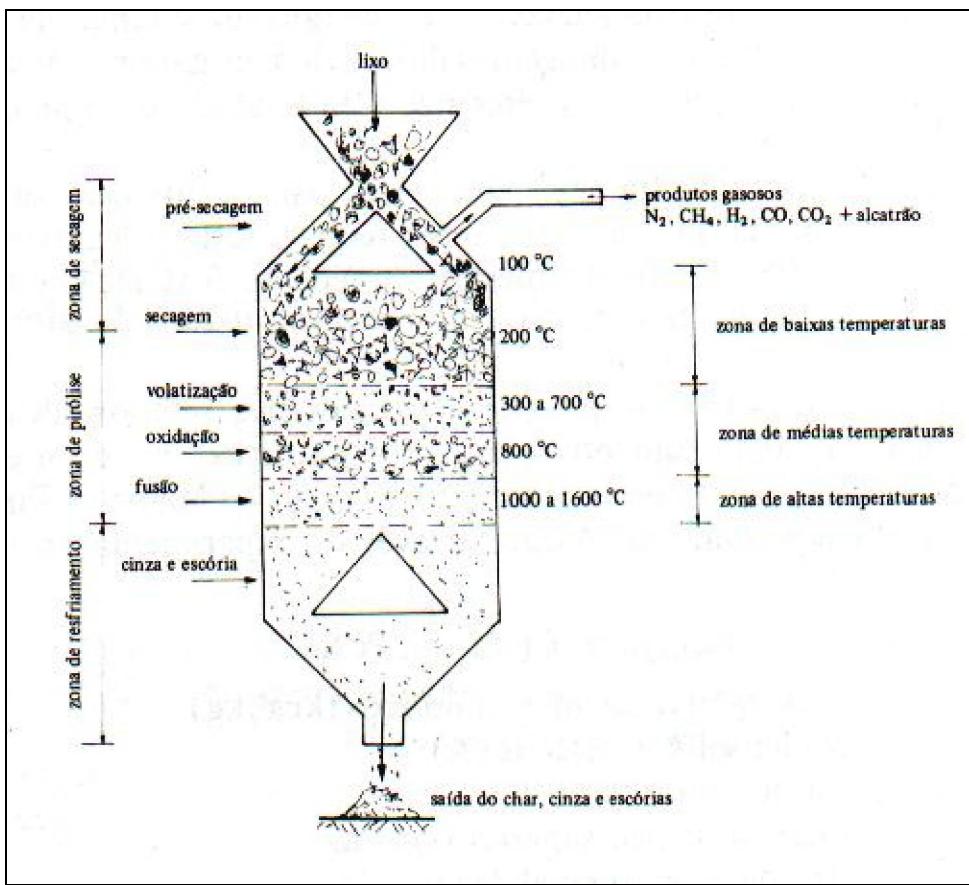
Segundo Pinto (1979) *apud* Lima (2004), através da pirólise, a matéria orgânica pode ser convertida em alguns subprodutos. O material pirolisado pode ser dividido em três grupos:

- Gases, compostos por hidrogênio, metano e monóxido de carbono;
- Combustível líquido, compostos por hidrocarbonetos, alcoóis e ácidos orgânicos de elevada densidade e baixo teor de enxofre;
- Um resíduo sólido, constituído por carbono quase puro (char) e ainda, por vidros, metais e outros materiais inertes (escória).

A pirólise é um processo de reação endotérmica, diferindo do processo de combustão realizado em condições exotérmicas, isso se faz necessário, pois somente dessa forma, reduzindo as perdas de calor é possível obter o fracionamento das substâncias sólidas presentes no lixo. À medida que os resíduos passam pelas diversas zonas de calor que constituem o reator pirolítico, o fracionamento das substâncias sólidas ocorre gradualmente (LIMA, 2004).

Do início ao final das zonas de calor, os resíduos passam por zonas de baixas temperaturas, zonas de médias temperaturas e zonas de altas temperaturas. “Na zona pirolítica o calor atinge gradientes elevados dependendo do sistema empregado. Em geral, a temperatura do reator varia de 300 a 1.600 °C.” (LIMA, p.164, 2004). O esquema do reator pirolítico da figura 19 detalha as etapas e variáveis envolvidas no processo.

**Figura 19 - Reator pirolítico**



Fonte: Geocities, 2012. Disponível em: <<http://www.geocities.ws/reciclagem2000/pirolise.htm>>.

“O balanço energético do sistema de pirólise é sempre positivo, pois produz mais energia do que consome; este, sem dúvida, é um fator importante para que este processo continue a ser pesquisado.” (LIMA, p.165, 2004). São necessárias ainda pesquisas básicas e aplicadas para se alcançar uma maturidade tecnológica que permita a aplicação desta tecnologia e seus produtos em escala comercial, além ganhar atratividade econômica (AMBIENTEBRASIL, 2011).

Analizando as dificuldades da técnica, considera-se a pirólise como um processo em desenvolvimento, por oferecer ainda elevado grau de incerteza. Entretanto, “com o avanço da tecnologia da combustão, este método pode tornar-se um instrumento de grande utilidade na luta contra a poluição.” (LIMA, p. 161, 2004).

## **1.4 Conversibilidade de energia a partir de resíduos sólidos urbanos**

Algumas das rotas tecnológicas para conversibilidade de energia a partir de resíduos sólidos urbanos já se encontram implementadas em diversos países, as quais podem ser estudadas com maior profundidade trata-se: da Digestão Anaeróbica Acelerada, Gás de Lixo e Incineração. Outras tecnologias ainda estão em fase incipiente, as quais poderão receber uma análise futura que são as tecnologias: Biomassa – Energia – Materiais (BEM) e Gaseificação. O processo de incineração já foi descrito anteriormente, como forma de tratamento de resíduos, eficiente na conversão de resíduos sólidos em energia. A utilização do gás de lixo e a digestão acelerada são duas tecnologias distintas, porém que atuam de forma semelhante, em ambos os casos, ocorre a geração de uma mistura gasosa, rica em metano e dióxido de carbono que pode ser utilizada para a obtenção de energia (HENRIQUES, 2004).

### **1.4.1 *Digestão anaeróbica acelerada***

A conversão biológica dos resíduos sólidos em combustíveis gasosos pode ser realizada em dois processos: digestão anaeróbica em sistemas controlados (biodigestores) e digestão anaeróbica em aterros sanitários (LIMA, 2004). A digestão anaeróbica é um processo bastante utilizado no tratamento de resíduos orgânicos, este processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias que ocorre na ausência do ar. O produto final do processo é o biogás, predominando o metano e o dióxido de carbono e composto orgânico que serve como condicionador do solo (ANEEL, 2002; LIMA, 2004; HENRIQUES, 2004). A digestão anaeróbica em sistemas controlados encontra-se em um estado avançado de desenvolvimento científico que permite seu emprego em escalas, sem envolver riscos desnecessários (LIMA, 2004).

A digestão acelerada dos restos alimentares associada à compostagem, através do processo anaeróbico controlado, conduzido por bactérias modificadas, além de aumentar o fornecimento do biogás ainda produz adubo orgânico, o qual acompanhado por um controle de qualidade pode gerar receita (OLIVEIRA E ROSA, 2002).

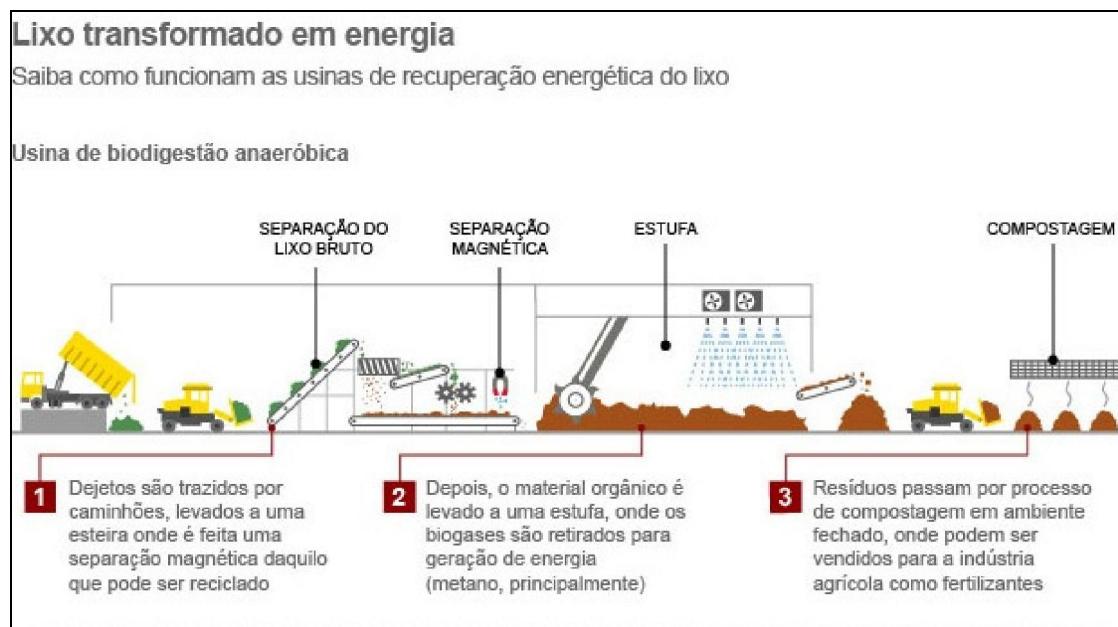
O tratamento anaeróbico possui vantagens como: um alto grau de estabilização de resíduos; baixa produção de lama de resíduos biológicos; baixa necessidade de nutrientes; não há necessidade de oxigênio; o metano é um produto final útil (McCARTY, 1964).

“Os processos biológicos de conversão de lixo em gases combustíveis podem ser classificados, genericamente em dois grupos principais: sistemas fechados e sistemas

abertos.” (LIMA,2004, p.186). Os sistemas fechados são designados de digestores ou biodigestores (Figura 20), estes se caracterizam pela geometria e pelo meio onde a decomposição da matéria orgânica ocorre. Neles a matéria orgânica é submetida a dois processos básicos por ação dos microrganismos: liquefação e gaseificação (LIMA, 2004).

A liquefação ocorre na fase ácida, onde a cadeia de carbono é quebrada sucessivamente. Assim os carboidratos são convertidos em açúcares, as proteínas em aminoácidos, os lipídios em glicerol etc. Na gaseificação os produtos finais da liquefação são transformados em gases, predominando, no final do processo, o metano e o dióxido de carbono. (LIMA, 2004, p.187).

**Figura 20 - Esquema de usina de transformação anaeróbica.**



Fonte: G1.com.br. Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/06/sp-vai-licitar-primeira-termelétrica-movida-lixo-do-brasil.html>>.

Os métodos de digestão anaeróbica para tratar resíduos sólidos urbanos podem ser classificados com as seguintes categorias: estágio simples, múltiplo estágio e batelada. No estágio simples, existem dois sistemas: úmido de um estágio e seco de um estágio. No sistema de múltiplo estágio ou sistema de dois estágios, a análise é mediada por uma sequência de reações bioquímicas as quais não dividem necessariamente as mesmas condições ótimas. No sistema de batelada, há uma separação evidente entre a primeira fase, onde acidificação procede muito mais rápido que a metanogênese e a segunda fase onde os ácidos são transformados em biogás (HENRIQUES, 2004).

Na biodigestão existem alguns fatores que podem influenciar o processo de modo negativo o que causa inibição na digestão da matéria orgânica. A influência da temperatura

pode afetar a atividade microbiológica, quanto maior for a temperatura do meio, maior será atividade e, consequentemente, maior será a produção de gás. Contudo, “em todos os estágios, o crescimento é afetado quando a temperatura ultrapassa tanto o limite superior como o inferior” (LIMA, 2004, p.190). A influência do pH pode afetar consideravelmente o processo de metanização, o que torna recomendado a manutenção do lodo digerido no digestor, de forma a balancear a taxa de conversão dos microrganismos e de equilibrar a produção de ácidos voláteis. Por fim, a influência de substâncias tóxicas presentes nos detritos como antibióticos, detergentes, ácidos, óleos, metais e outras oriundas do lixo urbano, podem inibir o processo de digestão. A máxima concentração de antibióticos que as bactérias digestivas podem suportar ainda é uma questão a ser estudada mais a fundo, tanto quanto, sobre os efeitos dos detergentes no processo de digestão. “Os metais pesados, como o cobre, cádmio, chumbo e outros desta natureza, também são inibidores de fermentação biológica” (LIMA, 2004, p.193).

#### **1.4.2 *Gás de Lixo (GDL)***

Os sistemas abertos são aqueles que utilizam como metodologia a “extração e produção de gás metano em sistemas abertos, ou seja, em aterros sanitários ou em descargas de lixo antigas.” (LIMA, 2004, p. 193). Também chamado de Gás de Lixo (GDL), essa tecnologia “visa resgatar esses gases e destiná-los a outros fins que não somente a sua emissão descontrolada para a atmosfera.” (HENRIQUES, 2004, p. 43).

Os aterros sanitários ou os depósitos de resíduos a céu aberto (lixões) geram gases resultantes da decomposição da matéria orgânica presente no lixo. Para a captação do gás oriundo da decomposição desses resíduos são construídos drenos que são interligados a um sistema de tubulações que conduzem os gases até a estação de purificação e armazenamento (LIMA, 2004) (Figura 21).

O Gás de Lixo é recomendável para aqueles aterramentos ou lixões já existentes, evidenciando a necessidade de se reportar a tecnologias que não priorizem o aterramento de resíduos sólidos urbanos, desta forma diminuindo impactos ambientais gerados na eliminação de efluentes líquidos e gasosos produzidos por essas técnicas.

**Figura 21** - Tubulações para captação de gases no aterro de Uberlândia – MG.



Fonte: Energás, 2012.

Na Figura 22, é realizada uma análise comparativa dos impactos ambientais gerados pelas principais tecnologias usadas na conversão de resíduos em energia: Gás de Lixo, Digestão Acelerada e Incineração. Em cada processo, verificam-se aspectos positivos e negativos a serem levantados.

**Figura 22 - Análise comparativa dos impactos ambientais das tecnologias.**

Processo	Positivo	Negativo
<b>Gás de Lixo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elimina gases poluentes</li> <li>- Uso para diversos fins</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ineficiência do Processo (40%)</li> <li>- Explosões espontâneas           <ul style="list-style-type: none"> <li>- Emisões fugitivas</li> <li>- Uso de grandes áreas</li> <li>- Vazamento de chorume</li> </ul> </li> </ul>
<b>Digestão Acelerada Seco – 1 estágio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pouca água no processo</li> <li>- Higienização completa</li> <li>- Menos sólidos voláteis no pré tratamento</li> <li>- REQUER MENOS CALOR</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- equipamento é caro</li> <li>- os inibidores podem ser diluídos na água</li> </ul>
<b>Digestão Acelerada Úmido – 1 estágio</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Equipamento para mexer com a lama é mais barato</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alto consumo de água</li> <li>- Elevado consumo de energia para aquecer grandes volumes</li> </ul>
<b>Digestão Acelerada – 2 estágios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- flexibilidade do projeto</li> <li>- mais confiável para resíduos domésticos pobres em celulose</li> <li>- menos metais pesados no composto orgânico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- COMPLEXO</li> <li>- alto investimento inicial</li> <li>- se não ocorre a metanogênese completa produz menos biogás</li> </ul>
<b>Digestão Acelerada Batelada</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-simples e robusto</li> <li>- planta confiável</li> <li>- barato, aplicável em países em desenvolvimento           <ul style="list-style-type: none"> <li>- pouca água</li> </ul> </li> <li>- poucos metais pesados no composto orgânico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ENTUPIMENTO</li> <li>- risco de explosão ao esvaziar o reator</li> <li>- pequena produção de biogás</li> <li>- muito espaço</li> </ul>
<b>Incineração</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentação contínua de RSU</li> <li>- Pequena área para instalação</li> <li>- Redução de material destinado à aterro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- gases de combustão</li> <li>- equipamento é caro</li> <li>- impactos secundários</li> </ul>

Fonte: HENRIQUES, 2004.

#### **1.4.3 Tecnologia BEM**

O brasileiro Daltro Garcia Pinatti, da Faculdade de Engenharia Química de Lorena – SP, desenvolve desde o final dos anos da década de 1980, uma tecnologia chamada de BEM, a sigla significa Biomassa – Energia – Materiais. O Grupo Peixoto de Castro, que é um grupo brasileiro, junto ao Professor Pinatti são os detentores da patente (PINATTI, 1996 *apud* HENRIQUES, 2004).

O Programa BEM tem por objetivo desenvolver as tecnologias dos materiais lignocelulósicos (madeira, bagaço de cana, capim, resíduos agrícolas, parte orgânica do lixo, etc.) e de digestão material (monazita, zirconita, etc.). Isto tem sido feito através de reatores de aço carbono revestidos com metais refratários e, neste programa, as biomassas são transformadas em duas commodities: a celulignina utilizada como combustível, ração animal e madeira sintética, entre outros produtos

e o pré-hidrolisado (solução de açúcares) usado em produtos químicos tais como furfural, álcool, xilitol (HENRIQUES, 2004)

Na tecnologia BEM, os produtos resultados do processo são: uma parte hidrolisada sólida que é a celulignina e outra parte líquida pré-hidrolisada composta pela solução de açúcares que foi digerida no processo (HENRIQUES, 2004).

A celulignina catalítica é produzida a partir da pré-hidrólise ácida dos RSU em um reator a vácuo. Este produto possui elevado poder calorífico (4.500 Kcal/kg) sendo usado como combustível sólido nas usinas termelétricas a resíduos (CAIXETA, 2005). O seu processo de fabricação segue as etapas de enchimento do reator piloto através de um alimentador helicoidal que compacta a biomassa até a densidade de 300kg/m<sup>3</sup>, após adiciona-se ácido sulfúrico residual industrial diluído. A característica principal do reator é apresentar um casco com revestimento interno de metal refratário quimicamente inerte, no caso desta máquina (Figura 23), utiliza-se titânio montado justaposto ao casco externo de aço carbono. Em seguida, são realizadas as etapas de degaseificação e aquecimento da biomassa, realizada através da passagem de vapor injetado. A temperatura vai aumentando e o reator é colocado em movimento oscilatório para que a mistura aqueça de forma homogênea e melhore o processo. A oscilação proposital afeta a cinética do processo de pré-hidrólise causando a substituição das camadas de solução saturada de açúcar, diminuindo o tempo de hidrólise e aumentando o teor de açúcares (xilose e glicose) na solução de água (pré-hidrosilado). A celulignina resulta em um produto com 30% a mais de teor de carbono em relação ao material orgânico original. A celulignina sai úmida do reator, passa pelos processos de secagem e Trituração, o que facilita seu uso como combustível, podendo ser queimada em turbinas a gás de ciclo combinado. (ROMÃO et al, 2000; SOARES, 2001; OLIVERIA, 2004; HENRIQUES, 2004; SILVA, 2008).

O pré-hidrolisado parte para um segundo reator onde é aquecido a 220° C transformando-se em furfural, que é um composto orgânico heterocíclico aromático. Em seguida, parte para uma tancagem e depois de aquecido é feito uma destilação. O vinhotto da planta é transferido para unidade de tratamento de água onde é retirado o lodo. Este, depois de seco, é tratado por um processo de conversão à baixa temperatura, gerando carvão e óleo, os quais podem ser queimados. O furfural possui inúmeras aplicações, dentre elas o PHF, que é uma mistura combustível composta por 20% de furfural, 50% de álcool e o restante de gasolina. Essa mistura já é usada na Califórnia por se tratar de um combustível limpo (OLIVEIRA; HENRIQUES, 2004).

**Figura 23 - Reator Piloto 1m<sup>3</sup> (300kg/reação)**

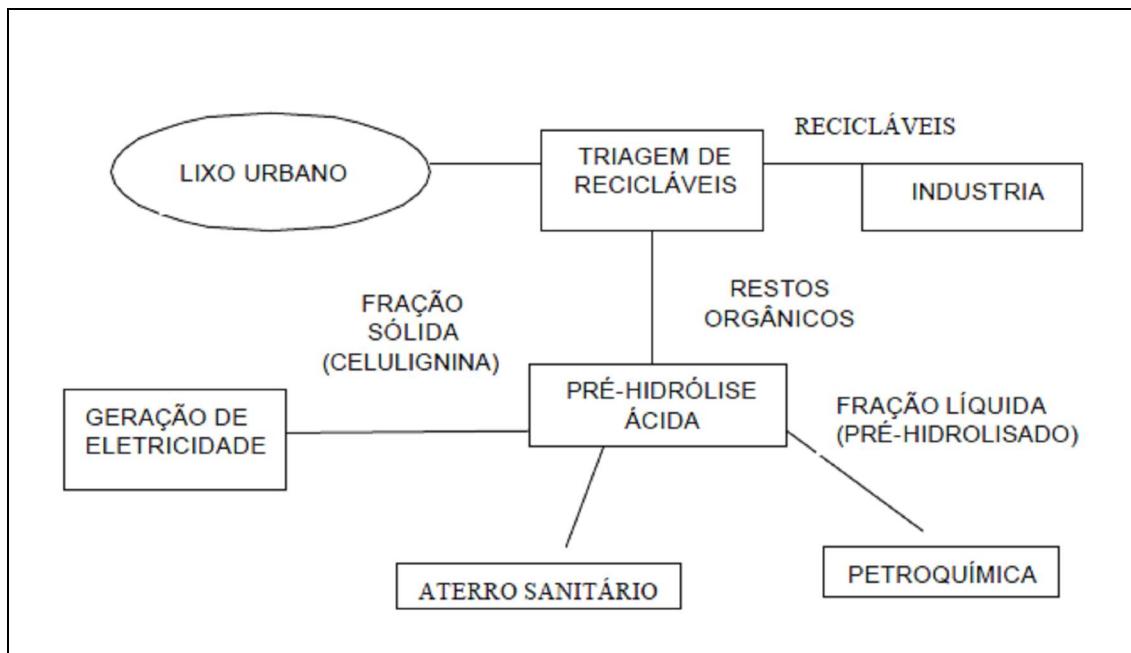


Fonte: PROBEM, 2010.

Disponível em: [http://www.tratabrasil.org.br/novo\\_site/cms/files/3/erica\\_apresentacao.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/novo_site/cms/files/3/erica_apresentacao.pdf).

A Figura 24 apresenta o fluxograma dos processos do sistema BEM, onde a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos são direcionados para o reator de pré-hidrólise ácida. Após a reação, a fração sólida (celulignina) e a fração líquida (pré-hidrolisado) seguem para o uso recomendado, geração de eletricidade e indústria petroquímica respectivamente.

**Figura 24 - Fluxograma de processos do sistema BEM**



Fonte: OLIVEIRA, 2004.

Os sólidos inorgânicos da matéria orgânica, como exemplo, os cacos de cerâmica, areia e argila, podem ser destinados a um aterro de resíduos inertes ou a uma usina de reciclagem de entulho (ROMÃO et. al., 2000).

Os impactos ambientais que essa tecnologia pode causar referem-se aos gases gerados na queima da celulignina (dióxido de carbono, outros gases de efeito estufa), todavia ainda não há um estudo detalhado desta combustão. Outro impacto é sobre a disposição do furfural, caso não tenha aplicação prevista, se torna um impasse a esta tecnologia (HENRIQUES, 2004).

A única planta com a tecnologia BEM é para tratamento da casca de arroz (Grupo Pileco – Alegrete - RS) para produção de sílica 99,9% SiO<sub>2</sub>. Para tratamento de resíduos sólidos urbanos, a tecnologia está enfrentando problemas nas licitações por não ter ainda uma planta em operação para RSU (PINATTI, 2012). Existe também uma planta piloto do reator de pré-hidólise ácida localizado em Lorena, Estado de São Paulo, na sede da empresa RM – Materiais Refratários, onde é desenvolvido o Programa BEM.

#### **1.4.4 Gaseificação**

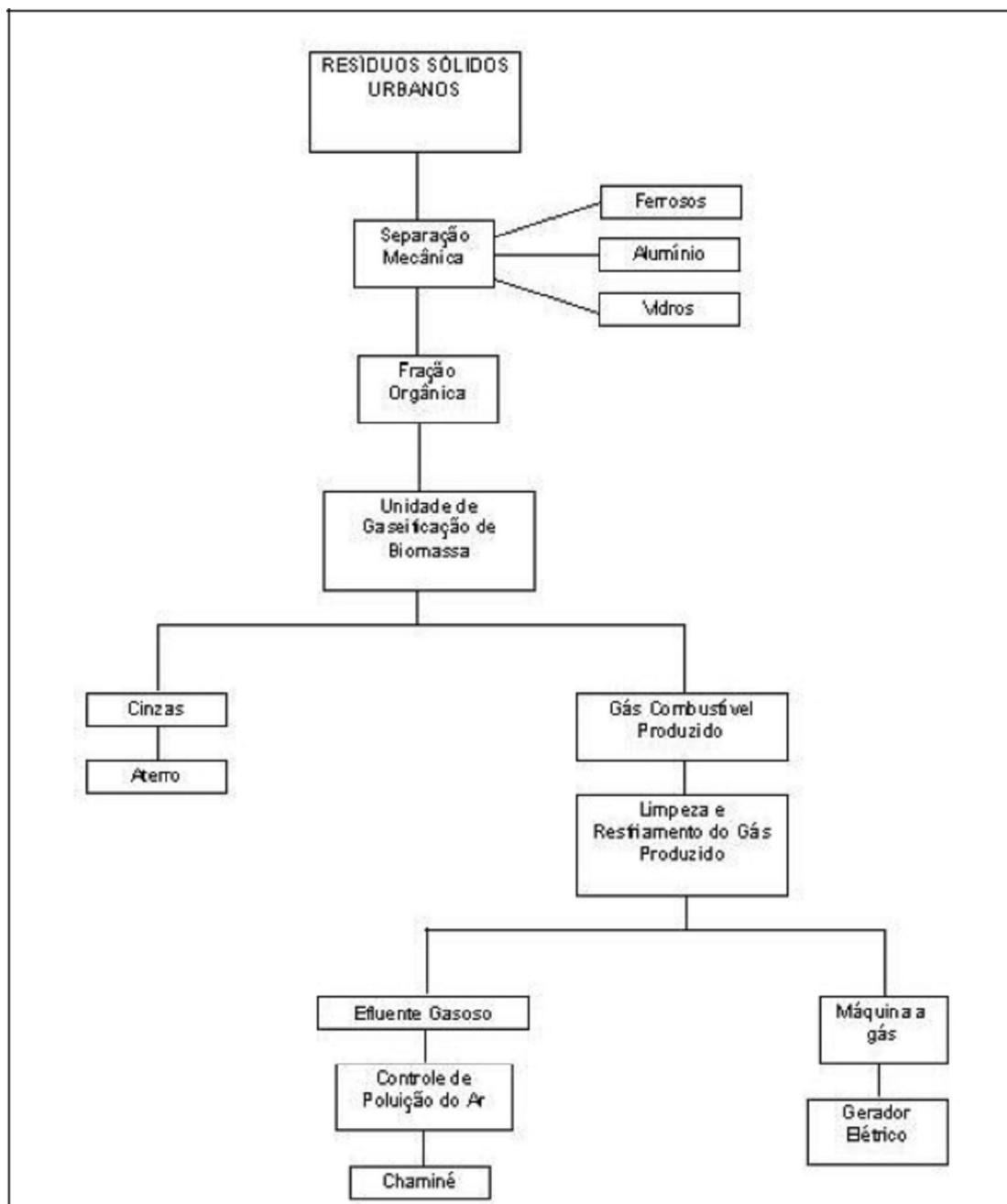
A gaseificação é a conversão de qualquer combustível líquido ou sólido, como a biomassa, em gás energético por meio da oxidação parcial em temperatura elevada, estes gases podem ser usados em máquinas de combustão internas para geração de energia direta ou em caldeiras para geração a vapor e produzir energia (ANEEL, 2002; HENRIQUES, 2004).

Essa tecnologia foi bastante utilizada até os anos de 1930, quando os derivados do petróleo passaram a ser adquiridos por preços competitivos e utilizados em grande escala. Ressurgiu nos anos de 1980, quando se verificou a necessidade de diminuição do uso de combustíveis fósseis (ANEEL, 2002).

Quanto ao processo, a tecnologia de gaseificação “envolve pirólises com um volume de ar controlado na primeira fase, seguida por mais reações de alta temperatura dos produtos de pirólises para gerar substâncias com baixo peso molecular” (HENRIQUES, 2004, p. 141). Essa tecnologia possui duas etapas principais. A primeira é a gaseificação do combustível que ocorre no reator de leito fluidizado e a segunda é a limpeza do gás. A limpeza do gás passa por dois estágios, o primeiro é a limpeza do gás quente no reator e o segundo estágio é a limpeza do gás, ainda quente, no filtro.

Na Figura 25, é apresentado um diagrama de fluxo de uma planta de energia a partir de RSU baseada na tecnologia de gaseificação.

**Figura 25** – Diagrama de fluxo de uma planta de energia a partir de RSU baseada na tecnologia de gaseificação.



Fonte: KUMAR, 2000.  
Org.: HERNRIQUES, 2004.

No processo, inicialmente, é realizada a segregação da porção orgânica do RSU. Após, a fração orgânica é triturada e posteriormente classificada por granulometria, que dever ser inferior a cinco centímetros. Deve ser mantida a umidade máxima de 20% para optimizar a recuperação do calor. O resíduo é introduzido no reator e misturado com um agitador onde é

guiada hidraulicamente. Logo, a carga passa pelo principal reator térmico no qual a temperatura alta, entre 900 a 1200º C, faz a conversão em gás. As cinzas resultantes são afastadas da base do reator por um sistema fechado onde não há emissão fugitiva de gases. Finalmente, o gás passa pelos estágios de limpeza e resfriamento. Do processo resultam as cinzas que podem ser enviadas ao aterro, efluentes gasosos de baixo peso molecular como monóxido de carbono, metano, hidrogênio e nitrogênio e, o gás com alto conteúdo energético, possibilitando uma eficiência de até 30% de eletricidade. (MORRIS, 1999 *apud* HENRIQUES, 2004).

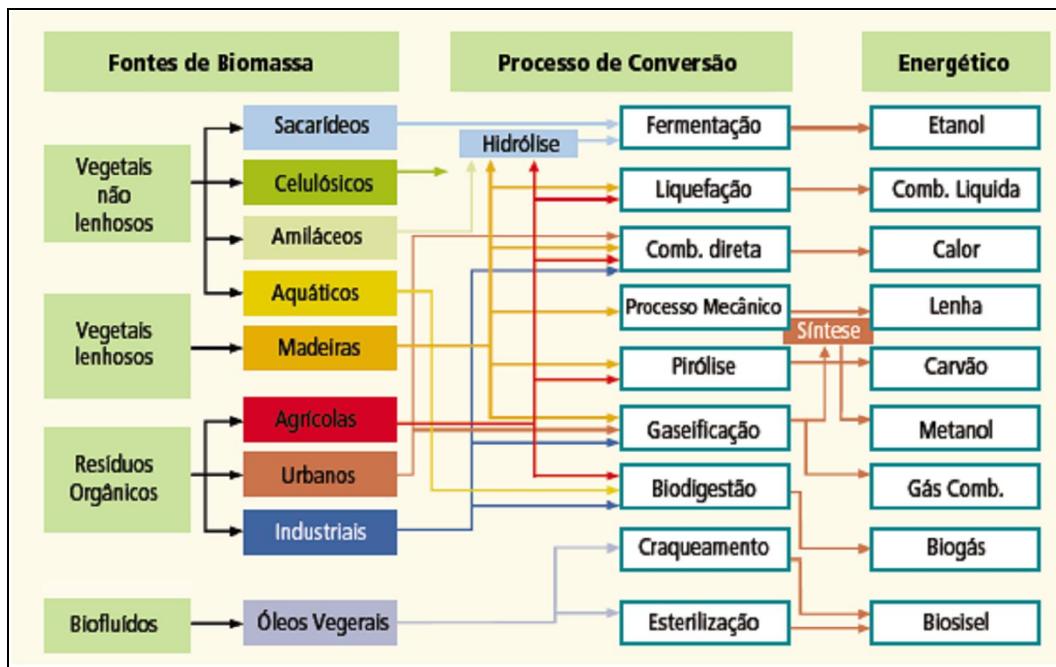
A principal vantagem dessa tecnologia é a redução da quantidade volumétrica de resíduos sólidos urbanos destinados ao aterro. A redução do peso chega a 75% e a redução do volume em até 90%. O gás do processo possui 30% a menos de volume, relacionado a tecnologia de incineração, com a mesma massa de resíduos (HENRIQUES, 2004).

A eficiência térmica global para a gaseificação é mais alta que a da incineração. No entanto, o mais atraente aspecto é o controle da poluição. Praticamente nenhum gás perigoso é expelido no ambiente. Além disso, área requerida para a planta é limitada quanto comparada com outras tecnologias contemporâneas (HENRIQUEs, 2004, p. 143).

A gaseificação da biomassa ainda não é uma tecnologia competitiva no mercado (ANEEL, 2002). Um dos deméritos dessa tecnologia é a dificuldade na obtenção de um equipamento capaz de produzir um gás de qualidade, com confiabilidade e segurança (PNE, 2007). O sofisticado sistema de resfriamento, de manutenção dos sistemas de limpeza e operação, faz deste um negócio custoso (KUMAR, 2000).

Na Figura 26, são evidenciadas pelo Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2002, algumas fontes de biomassa e os processos de conversão energética que podem ser utilizados em cada caso, inclusive, nota-se dentre os processos a gaseificação, a pirólise, e a biodigestão já tratados neste capítulo.

**Figura 26 - Processos de conversão energética da biomassa**



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2002).

## **2. TRATAMENTO ALTERNATIVO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: Projeto Natureza Limpa.**

### **2.1 Projeto Natureza Limpa**

A empresa TJMC Empreendimentos, localizada no município de Unaí, na porção noroeste do Estado de Minas Gerais, desenvolveu junto aos meios acadêmicos sob a liderança da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, tendo como assessoria científica o Professor Doutor Jean-Marie Lambert, o projeto Natureza Limpa. A empresa foi criada em 2005, trabalhando atualmente no desenvolvimento e comercialização do projeto, o qual vem sofrendo adaptações e aperfeiçoamentos desde sua origem em 2009.

A TJMC Empreendimentos possui um protótipo que já foi testado informalmente, porém ainda não está em operação, pois aguarda liberação dos órgãos ambientais competentes para a obtenção da Licença de Operação (LO). O Projeto Natureza Limpa objetivou o desenvolvimento de uma usina especialmente concebida para a conversão da porção orgânica dos resíduos sólidos urbanos em carvão ecológico usando ainda da hibridação de rotas tecnológicas como a reciclagem e a compostagem. Este projeto é aplicável a municípios, por ser adaptável à programas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos municipais.

O projeto se utiliza da hibridação de rotas tecnológicas distintas para cada resíduo, valendo-se de três vertentes:

- 1 – Reciclagem/Carbonização por pirólise com geração de combustível briquetado;
- 2 – Reciclagem com compostagem e produção de fertilizantes;
- 3 – Trituração de restos de demolição para a fabricação de agregados de cimento para a construção civil.

Os resíduos tratados são todos os resíduos sólidos urbanos, ou seja, aqueles de origem domiciliar, comercial e de limpeza urbana. De acordo com as informações da assessoria, os plásticos, papéis, borrachas, óleos comestíveis e lubrificantes podem tecnicamente integrar a massa pirolisada. Para cada vertente há uma estrutura modular ajustável da usina de acordo com a demanda de resíduos. As três vertentes do projeto serão explicadas a seguir.

#### **2.1.1 Reciclagem e carbonização**

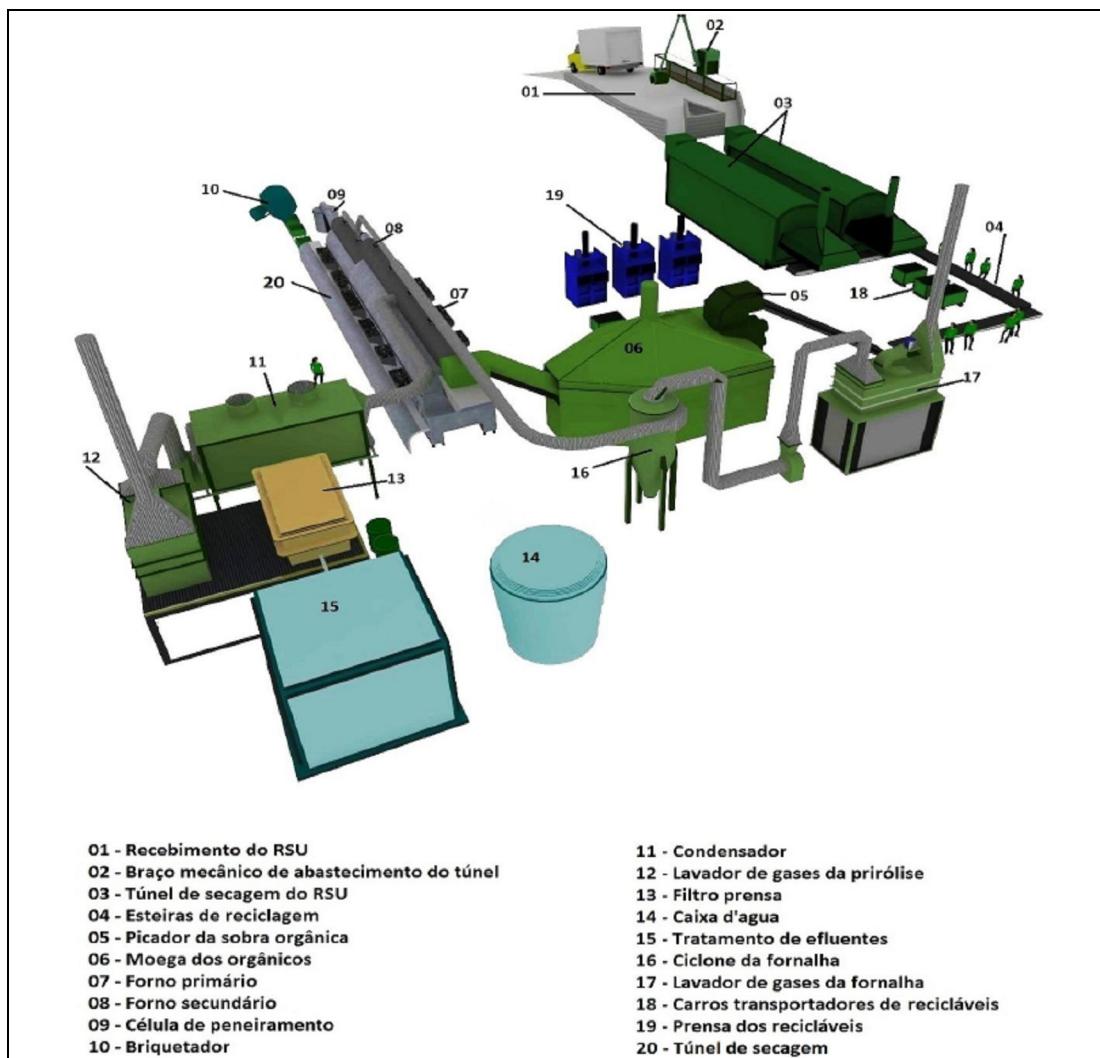
A vertente reciclagem/carbonização se inscreve no conceito genérico de tratamento térmico com recuperação energética por produção de combustível derivado de resíduos.

Primeiramente é feita a triagem do material reciclável e o saldo orgânico é transformado em carvão pirolítico de alto valor calorífico (Ver pirólise p. 52). A estrutura para implantação apresenta caráter modular que permite o ajuste a qualquer aglomeração urbana e volume de RSU por multiplicação dos elementos centrais da estrutura padrão (Figura 27) (NATUREZALIMPA, 2012).

Os resíduos são recebidos em uma área coberta com balança eletrônica para descarga dos caminhões de transportes com coletor de chorume; seguem por um braço mecânico que distribui os resíduos nos túneis de secagem. Neste local, a temperatura média é de 120° C a qual é mantida por sopro da caixa de combustão que é alimentada por carvão vegetal produzido por RSU. Nesta etapa, é retirada a umidade o que contribui para a salubridade e o manuseio na triagem dos recicláveis, a qual ocorre em uma esteira em movimento com campo imantado para a retirada de materiais ferrosos. Essa etapa é feita manualmente por triadores posicionados no percurso. Essa triagem manual remove o material inorgânico que voltará para a cadeira produtiva via reciclagem.

No processo, o saldo orgânico segue para o triturador e depois para o reator pirolítico com vistas à carbonização. Os efluentes líquidos percolados no manejo de descarga são recolhidos em tanque impermeável e bombeados para a câmara térmica do reator pirolítico visando posterior reaproveitamento de material graxo como combustível e devolução de saldo na forma de água purificada à natureza. O tanque do reator pirolítico é mantido a uma temperatura de até 400° por aquecimento da câmara térmica equipada com caixas de combustão. Essa operação de aquecimento equivale a uma fração de 30% do carvão gerado do próprio processo de pirólise, entretanto, a alimentação inicial de combustível é feita com carvão vegetal. Os efluentes gasosos oriundos do processo de pirólise são canalizados via condutos de exaustão até um condensador para transformação em água e produtos graxos.

**Figura 27 - Layout do sistema de reciclagem/carbonização.**



Fonte: Natureza Limpa, 2012.

O carvão resultante da pirólise passa por uma homogeneização e adição de aglutinantes, finalmente é levado para a briquetedeira e posterior depósito. Na Figura 28, têm-se os briquetes de carvão resultantes do processo de pirólise.

**Figura 28** - Briquetes de carvão



Autor: MORAIS, 2013.

Na Figura 29, é possível visualizar a estrutura do reator pirolítico com capacidade de 120 toneladas de resíduos.

**Figura 29:** Reator pirolítico.



Fonte: Arquivos internos, Natureza Limpa, Unaí, 2012.

### **2.1.2 Reciclagem com compostagem e produção de fertilizantes organominerais**

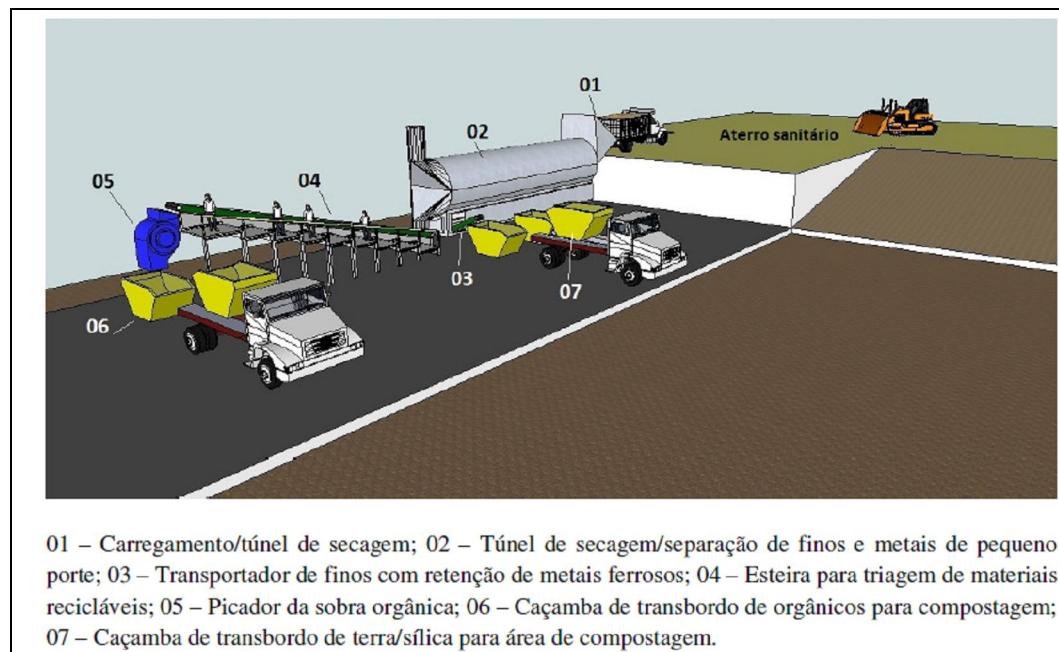
Essa vertente do Projeto Natureza Limpa se propõe na eliminação do passivo ambiental ocasionado pelo lixão ou aterro por compostagem e com a produção de fertilizantes organominerais, transformando o passivo ambiental em ativo agrícola, segundo o destino.

O método de reciclagem e carbonização anteriormente descrito no item 2.1.1

[...] não se aplica às camadas profundas de depósitos, pois o resíduo antigo se encontra em estado avançado de decomposição e pouco se presta à carbonização em função da queda do potencial energético sofrida no decorrer dos anos por emissão do biogás ( $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ ). O elemento calorífico presente no metano e dióxido de carbono, com efeito, se perde irremediavelmente na atmosfera durante o processo de putrefação da base orgânica, deixando a matéria prima empobrecida para a recuperação energética. (NATUREZA LIMPA, 2012, p. 15).

A Figura 30, demonstra as fases preparatórias que compõem o processo de compostagem para a produção de fertilizantes organominerais.

**Figura 30 -** Esquema das fases preparatórias do processo de compostagem para produção de fertilizantes.



Fonte: Arquivos internos, Natureza Limpa, 2012.

A eliminação do aterro ou lixão resultará no fornecimento de matéria prima a uma fábrica de fertilizantes. Esse processo comporta as etapas de secagem, triagem, compostagem, balanceamento, granulação e ensaque, que ocorrerá até o esgotamento dos resíduos

depositados. A produção de fertilizantes consumirá uma média diária de RSU a ser definido por contrato com a Prefeitura. Fica a cargo da Prefeitura contratante a remoção dos resíduos dos depósitos antigos existentes.

O resíduo antes disposto no aterro é retirado por caminhões basculantes para ser levado até a unidade de tratamento, onde passa por um túnel de secagem giratório equipado com sistema de peneiramento para separação de terra e areia. Após, segue em esteira rolante para separação dos recicláveis por triadores posicionados no percurso.

A parcela orgânica é picada e separada por granulometria, depois é transferida para área de depósito impermeabilizada para balanceamento por acréscimo de matéria prima (Figura 31), como bagaço de cana, casca e sabugo de milho entre outras oriundas da agroindústria local, visando à formulação de massa orgânica homogênea em atendimento à regulamentação pertinente. O material não compostável é encaminhado para a unidade de reciclagem/carbonização.

O processo de biodegradação da parcela orgânica é induzido por acréscimo de enzimas e micro-organismos, dispostas em leiras de compostagem onde são regularmente revolvidas. Após 30 dias, procede-se à uniformização e bioestabilização do material por acréscimo de elementos mineralógicos em consonância com a normatização relevante. O material é destorrado, peneirado e refinado para produção de pó homogêneo; já refinado passa por processo de granulação e ensaque de acordo com a regulamentação vigente.

**Figura 31** - Matéria prima oriunda da agroindústria



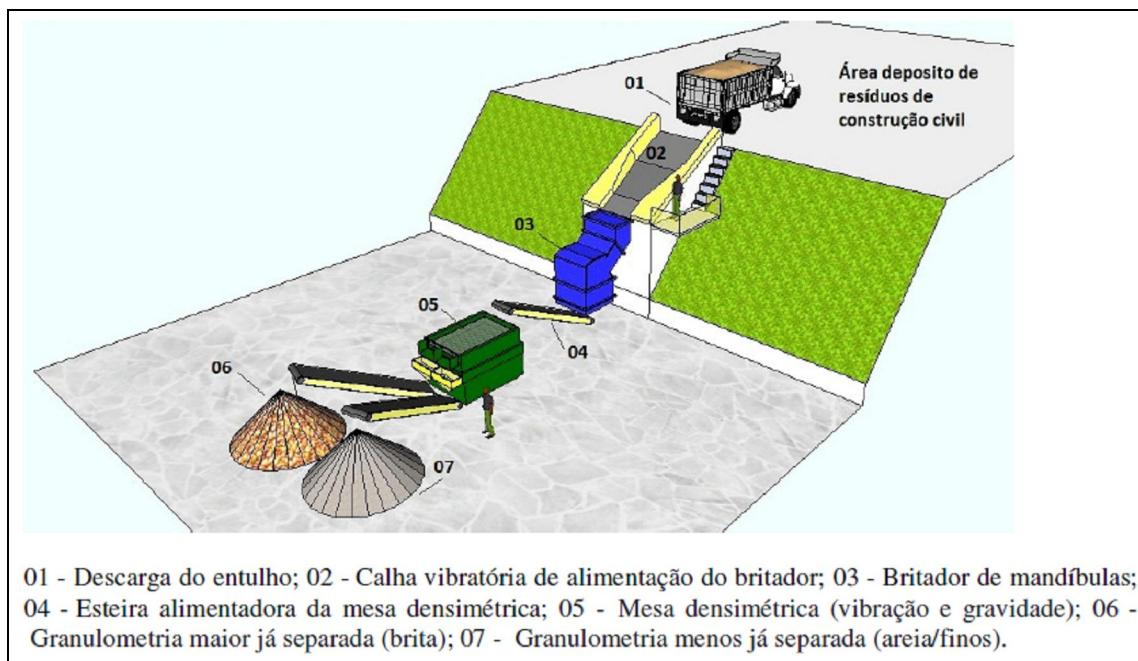
Autor: MORAIS, 2013.

### 2.1.3 Fabricação de agregados de cimento para construção civil

A complementação dos processos anteriores acima descritos, utilizando para este processo uma estrutura também modular, que reaproveita restos de demolição para a fabricação de agregados de cimentos para a construção civil, é mais um recurso que valoriza a matéria prima já disponível evitando novas extrações.

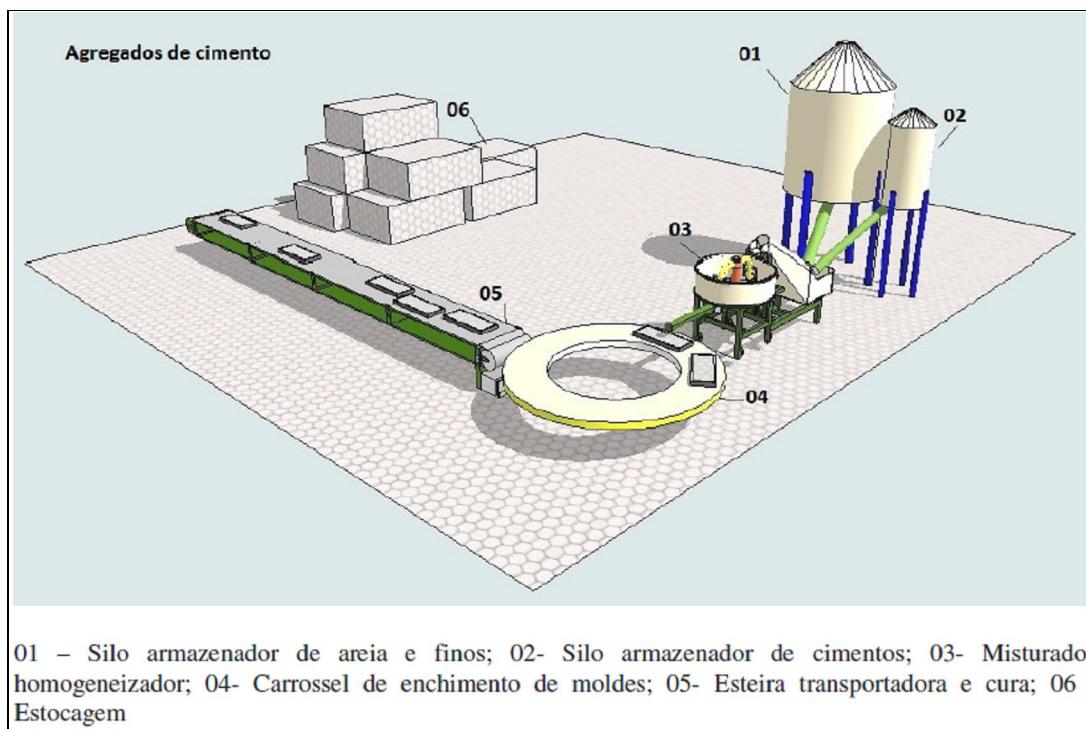
No processo, inicialmente, as caçambas de entulho são descarregadas na calha vibratória ou despejadas no pátio de espera. O material cai no triturador via calha de recepção, depois é triturado e separado por granulometria. O material é translado para o homogeneizador por fuso transportador para mistura e produção de massa homogênea de areia, brita, cimento e água recuperada da pirólise. A massa é moldada e depois é abrigada no pátio para período de cura e armazenamento. Os esquemas das etapas preparatórias e da produção de agregados de cimento podem ser visualizadas nas Figuras 32 e 33.

**Figura 32 -** Esquema das etapas preparatórias da fabricação de agregados de cimento.



Fonte: Arquivos internos, Natureza Limpa, 2012.

**Figura 33:** Esquema das etapas da produção de agregados de cimento.



Fonte: Arquivos internos, Natureza Limpa, 2012.

#### **2.1.4 Avaliação dos processos de tratamento de resíduos sólidos urbanos do Projeto Natureza Limpa**

O Projeto Natureza Limpa inclui, em sua primeira vertente a pirólise que é uma tecnologia, que de acordo com o Lima (2004), ainda oferece elevado grau de incerteza, porém com o avanço da tecnologia de combustão pode tornar-se um instrumento de grande utilidade na luta contra a poluição. O trabalho da TJMC Empreendimentos com a Pontifícia Universidade Católica de Goiás é de aperfeiçoamento da técnica para que se obtenha o mínimo de impacto acerca das emissões de gases, geração de cinzas e efluentes, obtendo-se o máximo de aproveitamento dos RSU.

As cinzas geradas no processo de pirólise foram analisadas por um laboratório particular, sendo classificadas como resíduo classe II B – inerte, segundo as normas da ABNT. Esse material poderá ser incluído na fabricação de agregados de cimento para construção civil. As cinzas correspondem a 3% da massa de resíduo inicial.

Os padrões de emissão atmosférica do reator pirolítico foram considerados aceitáveis, através das análises dos efluentes gasosos, realizado pela mesma empresa particular, de

acordo com os valores orientados pela Resolução CONAMA 3, de 28 de junho de 1990, combinado com a Resolução CONAMA 316 de 29 de outubro de 2002 (ANALÍTICA, 2011).

O relatório técnico, emitido por uma empresa particular contratada, a respeito da emissão atmosférica da queima dos briquetes de carvão gerados no processo de pirólise, indicaram que as amostras de carvão analisadas não ultrapassam os valores máximos permitidos na legislação. As substâncias gasosas emitidas pela queima do briquete, evidenciadas na análise, se compõem de material particulado, dióxido de enxofre ( $\text{SO}_2$ ), ácido clorídrico (HCl) e dióxido de nitrogênio ( $\text{NO}_2$ ). A Figura 34 relaciona as médias de amostragem obtidas através da chaminé de combustão de briquetes com o padrão máximo de emissão permitido

**Figura 34** - Amostragens obtidas através da chaminé de combustão de briquetes

Fonte	Parâmetro	Unidade	Média das Amostragens	Padrão Máximo de Emissão
Chaminé de Combustão de Briquetes	Material Particulado - MP	mg/Nm <sup>3</sup>	67	150 <sup>1</sup>
	Dióxido de Enxofre - $\text{SO}_2$	mg/Nm <sup>3</sup>	5,3	2500 <sup>1</sup>
	Ácido Clorídrico - HCl	mg/m <sup>3</sup>	0,7	30 <sup>2</sup>
	Dióxido de Nitrogênio - $\text{NO}_2$	mg/Nm <sup>3</sup>	7,3	- <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Deliberação Normativa COPAM Nº 01/92, Minas Gerais  
<sup>2</sup> Ta-Luft 2002 - Germany  
<sup>3</sup> Não foi encontrada legislação de Referência

Fonte: CAMPO, 2012.

A lavagem dos gases emitidos no processo de pirólise geram efluentes que serão tratados em uma estação de tratamento de efluentes (ETE) instalada na própria usina. Os resíduos sólidos, líquidos e atmosféricos emitidos no processo de pirólise mais os gases emitidos na queima dos briquetes de carvão, estão sendo analisados novamente por laboratórios credenciados ao Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

As análises dos resíduos acima descritos são preliminares, pois de acordo com a FEAM, as análises devem ser realizadas junto aos laboratórios homologados ao INMETRO, sem as quais a empresa não obterá a licença de operação (LO). A TJMC Empreendimentos, no atual momento dessa pesquisa, está se adequando às solicitações da Superintendência Regional de Regularização Ambiental (SUPRAM) do Noroeste de Minas.

O Projeto Natureza Limpa é inovador na hibridação de rotas tecnológicas no tratamento de RSU no Brasil. É um projeto que está sofrendo um amplo processo burocrático por utilizar a pirólise, que é uma técnica pouco aplicada no Brasil (PINTO-COELHO, 2009). Os pontos negativos dessa tecnologia se inserem na questão das análises referentes aos resíduos gerados em todo o processo, as quais estão ainda em aprovação. E ainda, a obtenção da licença de operação depende do cumprimento das exigências dos órgãos ambientais responsáveis. Nessas exigências está incluso um estudo de viabilidade técnica e ambiental do empreendimento que já foi providenciado.

A pirólise é uma tecnologia na qual o balanço energético é sempre positivo, porque produz mais energia do que consome, sendo um fator importante para que continue a ser pesquisado (LIMA, 2004). O reator pirolítico do protótipo consegue atingir uma eficiência de combustão que varia de 88% a 90 %, ainda com uma eficiência de redução volumétrica de 85%. Outra vantagem é a produção de briquetes de carvão pirolítico em substituição ao carvão vegetal usado na queima em fornos pelas indústrias.

A segunda vertente do projeto reciclagem/compostagem que objetiva o tratamento dos resíduos aterrados ou dispostos a céu aberto (lixão), podem ainda diminuir o passivo ambiental gerado por essas formas de disposição de RSU.

A hibridação de rotas tecnológicas do Projeto Natureza Limpa além da junção de pesquisas acadêmicas para a evolução dos processos em todas suas etapas é um grande atrativo para este projeto. A base científica e os aparatos de pesquisas aplicados no projeto lhe dão mais seriedade e continuidade no avanço dos ganhos ambientais.

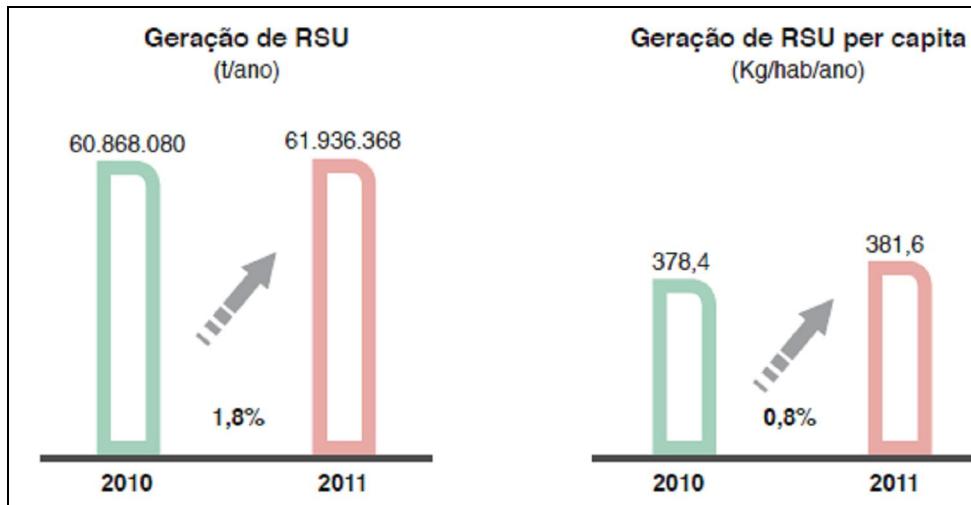
O modelo objetiva o máximo de reaproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos em todo o seu ciclo de acordo com suas características, se aperfeiçoando concomitante à necessidade e à legislação pertinente.

De acordo com a caracterização da situação dos resíduos sólidos urbanos do Brasil e Minas Gerais, que são descritas a seguir neste capítulo, é possível perceber a ausência de inovação dada ao tratamento dos resíduos sólidos urbanos no Estado e no país. Dessa forma, a partir da tecnologia do Projeto Natureza Limpa aqui descrito, foi feito uma proposta para Uberlândia - MG, apresentada no capítulo III dessa dissertação, demonstrando através da pesquisa feita a possibilidade de um novo tratamento para os resíduos sólidos urbanos da cidade.

## 2.2 Situação dos resíduos sólidos urbanos no Brasil

De acordo com o último relatório da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais - ABRELPE (2011), a geração de RSU no Brasil registrou crescimento de 1,8%, de 2010 para 2011, índice percentual que é superior à taxa de crescimento populacional urbano do país, que foi de 0,9% no mesmo período, segundo a Pesquisa Nacional de Amostras de Domicílio - PNAD (IBGE, 2011). Quanto à geração de RSU *per capita* observa-se um aumento de 0,8%, no período citado (Figura 35).

**Figura 35** - Geração de RSU no Brasil.



Fonte: Abrelpe, 2011.

Ainda segundo a ABRELPE (2011), dos 5.565 municípios brasileiros, 3.263 (58,6%) em 2011, indicaram a existência de iniciativas de coleta seletiva. Mesmo que a quantidade de municípios com coleta seletiva seja expressiva, deve-se considerar que, na maioria das vezes, tais atividades são apenas por disponibilização de pontos de entrega voluntária ou por formalização de convênios com cooperativas de catadores para a efetivação dos serviços.

Os setores industriais de alumínio, papel, plástico e vidro possuem considerável participação nas atividades de reciclagem no país. Pode-se destacar que cerca de 60% do total de RSU coletado segue para aterros sanitários, contudo 75 mil toneladas diárias ainda são destinadas inadequadamente, sendo encaminhadas para lixões ou aterros controlados, que não possuem o conjunto de sistemas e medidas necessários para proteção do meio ambiente. Apesar das determinações legais e dos esforços empreendidos, essa destinação inadequada de RSU é vista em todos os Estados (ABRELPE, 2011).

De acordo com a pesquisa CEMPRE – Ciclosoft de 2012, 766 municípios operam programas de coleta seletiva. Na Figura 36, observa-se uma ascendência na quantidade de municípios que aderiram a programas de coleta seletiva.

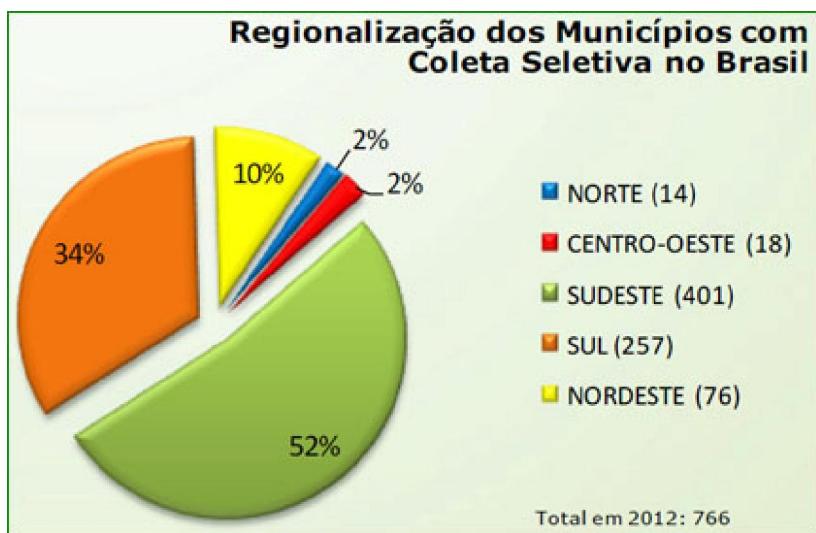
**Figura 36** - Municípios com coleta seletiva no Brasil.



Fonte: CEMPRE, 2012.

Os programas municipais de coleta seletiva permanecem concentrados nas regiões Sudeste e Sul do país, assim do total dos 766 municípios brasileiros que realizam esse serviço, 86% estão situados nessas duas regiões. Na Figura 37, é possível verificar a regionalização dos municípios com coleta seletiva no Brasil.

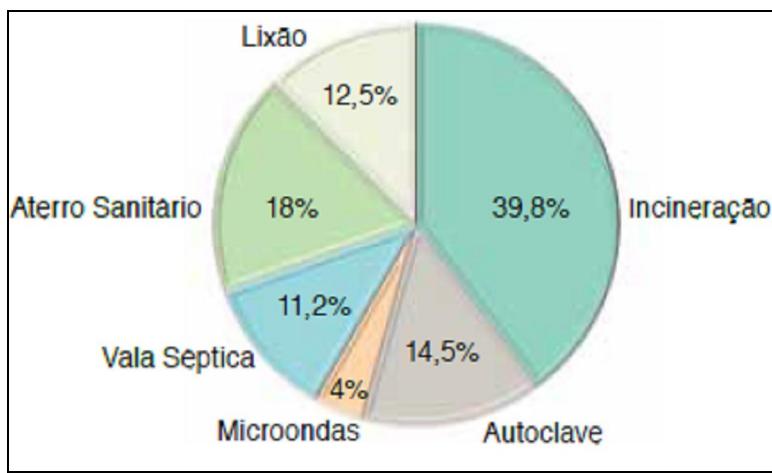
**Figura 37** - Regionalização dos municípios com coleta seletiva no Brasil.



Fonte: CEMPRE, 2012.

A coleta dos resíduos sólidos de saúde (RSS), executada pela maioria dos municípios brasileiros é parcial, o que colabora expressivamente para o desconhecimento da quantidade total gerada e o destino real desses resíduos (ABRELPE, 2011). A Figura 38, apresenta a situação da destinação final dos resíduos sólidos de saúde coletados pelos municípios em 2011.

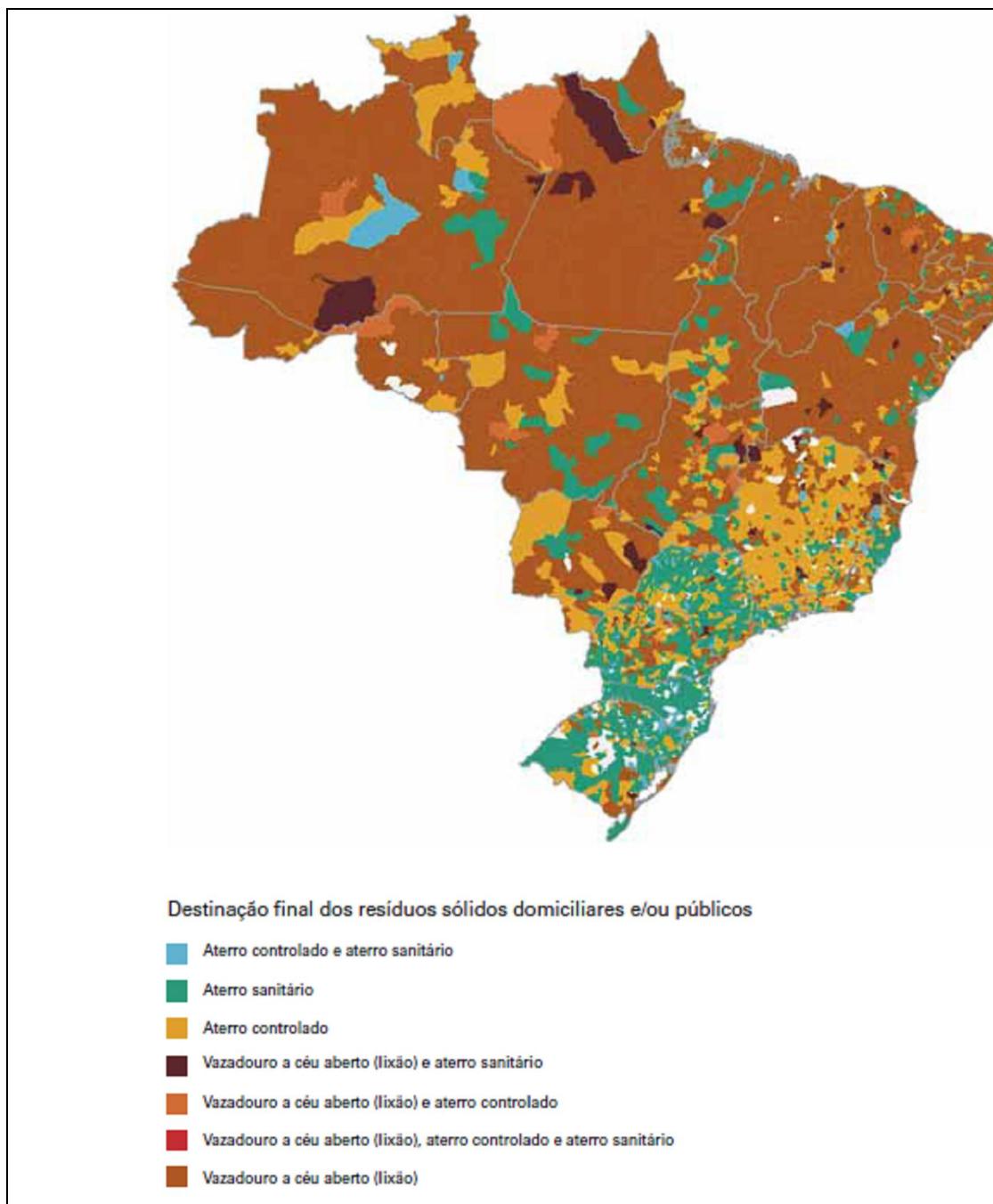
**Figura 38** - Destino final dos RSS coletados pelos municípios.



Fonte: ABREPE, 2011.

Na Figura 39, são apresentados, na forma de um cartograma, os municípios brasileiros segundo a destinação final dos resíduos sólidos urbanos.

**Figura 39:** Municípios segundo a destinação final dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.



Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008.

Analizando a figura 39 e, remetendo ao que já foi descrito na introdução, de acordo com última Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008), a disposição final dos resíduos sólidos no Brasil, em sua maior parte, 50,8% ainda é disposta em vazadouros a céu

aberto. Apenas 21,5% são dispostos em aterros controlados e 27,7% seguem para a disposição menos impactante que é o aterro sanitário.

A quantidade de RSU gerados por região (Figura 40), no período de 2010 a 2011, mostra um aumento na geração de resíduos *per capita* diária de 4,1% na região Norte, o maior aumento comparado às outras regiões. Na região Nordeste, ocorreu um aumento de 1% na geração *per capita* diária de RSU, seguida das regiões Sul (0,9%), Centro-Oeste (0,4%) e Sudeste (0,38 %). A análise da geração de RSU *per capita* leva a uma reflexão sobre o aumento do consumo de mercadorias por habitante.

**Figura 40** - Quantidade de RSU gerados por região e Brasil.

Região	2010		2011	
	RSU Gerado (t/dia)/ Índice (Kg/hab/dia)	População Urbana (hab)	RSU Gerado (t/dia)	Índice (Kg/habitante/dia)
Norte	12.920 / 1,108	11.833.104	13.658	1,154
Nordeste	50.045 / 1,289	39.154.163	50.962	1,302
Centro-Oeste	15.539 / 1,245	12.655.100	15.824	1,250
Sudeste	96.134 / 1,288	75.252.119	97.293	1,293
Sul	20.452 / 0,879	23.424.082	20.777	0,887
<b>BRASIL</b>	<b>195.090 / 1,213</b>	<b>162.318.568</b>	<b>198.514</b>	<b>1,223</b>

Fonte: Abrelpe, IBGE (2011).

Segundo a pesquisa Abrelpe (2011), na região Sul, apenas 10,5% dos municípios adotam o lixão, valor bastante divergente quando comparado com a região Norte, onde 56,1% dos municípios adotam como meio de disposição o lixão a céu aberto, seguido da região Nordeste com 47,1% (Figura 41).

**Figura 41** - Quantidade de municípios por tipo de disposição adotada.

Destinação Final	2011 – Regiões e Brasil					
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	BRASIL
Aterro Sanitário	88	446	154	808	698	2.194
Aterro Controlado	109	502	148	640	365	1.764
Lixão	252	846	164	220	125	1.607

Fonte: Abrelpe, 2011.

Na Figura 42, verificando o período de 2010 a 2011, os valores apresentados sobre os recursos aplicados na coleta de RSU revelaram um aumento de 6,2% do valor mensal investido na coleta *per capita* nacional. O maior acréscimo na aplicação de recursos foi na região Sul, com um aumento de 9% no valor mensal da coleta per capita. Para a região Nordeste, ocorreu um aumento de 6,5% nos recursos aplicados sobre o valor mensal da coleta per capita, seguida das regiões Norte (6%), Sudeste (5,9%) e Centro-Oeste (5,6%).

**Figura 42 - Recursos aplicados na coleta de RSU.**

Região	2010	2011		
	Recursos Aplicados Coleta RSU / Equival. por Habitante (R\$ milhões/ano) / (R\$/mês)	População Urbana (hab)	Recursos Aplicados na Coleta RSU (R\$ milhões/ano)	Valor Equivalente por Habitante (R\$ / mês)
Norte	531 / 3,79	11.833.104	571	4,02
Nordeste	1.488 / 3,19	39.154.163	1.599	3,40
Centro-Oeste	450 / 3,00	12.655.100	482	3,17
Sudeste	3.756 / 4,19	75.252.119	4.010	4,44
Sul	931 / 3,34	23.424.082	1.022	3,64
<b>BRASIL</b>	<b>7.156 / 3,71</b>	<b>162.318.568</b>	<b>7.684</b>	<b>3,94</b>

Fonte: Abrelpe; IBGE, 2011.

### 2.3 Resíduos sólidos urbanos no Estado de Minas Gerais

A Fundação Estadual do Meio Ambiente, com o objetivo de apoiar os municípios na implantação de políticas voltadas para a gestão adequada dos resíduos sólidos urbanos, criou em 2003, em Minas Gerais, o Programa Minas sem Lixões. E em 2008, a FEAM firmou o Termo de Parceria com a Fundação Israel Pinheiro e convênio com as Universidades Federais de Lavras e de Viçosa para apoio operacional nas ações do Programa Minas sem Lixões, com efeito de buscar uma maior eficiência e eficácia das ações e também buscar ampliar as possibilidades de articulação entre o Estado, municípios e cidadãos (FEAM, 2012).

O Programa Minas sem Lixões tem a meta estabelecida de destinar adequadamente 60% dos resíduos sólidos urbanos e pôr fim a 80% dos lixões de Minas Gerais, meta que foi estabelecida para ano de 2011. O último relatório de progresso do Programa foi feito utilizando o ano de 2011 como base. Segundo a FEAM (2013), o programa Minas sem Lixões vem tendo continuidade dentro do Projeto Estratégico Valorização e Redução de Resíduos e,

tem meta de ter 75% da população atendida por sistema de disposição final de resíduos sólidos urbanos regularizados.

O Programa caracterizou os 853 municípios em relação ao tratamento e/ou disposição final dos RSU, considerando como unidades de tratamento/disposição final, os aterros sanitários e usinas de triagem e compostagem que possuem a devida regularização ambiental junto ao Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), por meio da obtenção da Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF) ou Licença de Operação (LO), encontrando-se em pleno funcionamento. Contudo 49 municípios, que representam um total de 5,7% do numero total, não foram classificados, pois ainda estão em fase de verificação da Autorização Ambiental de Funcionamento (AAF), isto se deve ao fato de que alguns municípios obtêm a autorização, mas não finalizam a instalação ou a operação da unidade, o que leva a não se considerar a destinação de resíduos sólidos urbanos regularizada (*Op. cit.*).

A destinação inadequada de RSU, de acordo com panorama da FEAM (2011), representa 68,6%, sendo 32,6% de lixões e 36,0% de aterros controlados. A parcela de destinação adequada é de 31,4%, destes 9,4% são aterros sanitários e, 16% são unidades de triagem e compostagem (UTC) que são consideradas como parte da fração de destinação adequada, pois o resíduo é triado e a parte orgânica é transformada em composto, o restante não compostado ou destinado à reciclagem é disposto em valas na própria área da UTC (FEAM, 2013). Da fração restante (5,7%), são de municípios não classificados quanto à disposição de resíduos sólidos urbanos, por estarem no período da pesquisa com a AAF em fase de verificação e, 0,3% destinam seus resíduos a outro Estado.

De acordo com a FEAM (2012), em 2001, havia apenas oito municípios com mais de 50.000 habitantes, atendidos por aterros sanitários e 22 por unidades de triagem e compostagem. E no ano de 2005, dos 53 municípios acima de 50.000 habitantes, 14 desses municípios possuíam aterros sanitários, 24 possuíam aterros controlados e 15 ainda dispunham os resíduos em lixões. Tais números indicam que o programa de tratamento e/ou disposição adequadas de RSU, vem obtendo resultados, desde seu início em 2001.

Contudo, ainda existem 278 municípios que realizam tratamento e/ou disposição inadequadas de seus resíduos sólidos, ou seja, realizam sua disposição final em lixões, apesar dos esforços do governo, sendo 233 municípios com menos de 20.000 habitantes, 26 municípios com população urbana entre 20.000 e 50.000 habitantes e 19 com população urbana acima de 50.000 habitantes (IBGE, 2010).

A quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados em Minas Gerais, no período de 2010 a 2011, teve um aumento diário de 2,4% no total gerado, ao mesmo tempo em que a

população urbana total teve um aumento de 0,73% no mesmo período. No ano de 2010, 13,68% do RSU deixou de ser coletado, já no ano de 2011 observa-se que esse número caiu para 10,86%, o que pode ser evidenciado como resultado do Programa Minas sem Lixões (Figura 43).

**Figura 43-** Coleta e geração de RSU no Estado de Minas Gerais.

População Urbana		RSU Coletado				RSU Gerado (t/dia)	
		(kg/hab/dia)		(t/dia)			
2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
16.713.654	16.836.700	0,897	0,935	14.986	15.737	17.036	17.445

Fonte: Abrelpe; IBGE, 2011.

Sobre a coleta seletiva em Minas Gerais, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), através da deliberação normativa nº172 de 22 de dezembro de 2011, Art. 1º, instituiu o Plano Estadual de Coleta Seletiva de Minas Gerais (PECS), que estabelece

os princípios, diretrizes, estratégias e critérios que orientarão a atuação do Estado no apoio à implantação ou ampliação da coleta seletiva nos municípios, de forma alinhada com as diretrizes do Plano de Regionalização para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos em Minas Gerais, incentivando a inclusão sócio produtiva dos catadores de materiais recicláveis e o fortalecimento dos instrumentos determinados pelas políticas de resíduos sólidos.

A responsabilidade de promover divulgação do PECS é de cargo da FEAM, que também deverá rever o plano a cada quatro anos. Portanto, os municípios que manifestarem interesse deverão informar formalmente a FEAM por meio de ofício, a qual selecionará anualmente os municípios que receberão apoio. No Quadro 1, é apresentado o número de municípios mineiros com serviço de coleta seletiva de acordo com a área de abrangência.

**Quadro 1 -** Número de municípios com serviço de coleta seletiva por área de abrangência

Área de abrangência	Número de municípios
Todo o município	44
Toda a área urbana da sede municipal	68
Exclusivamente alguns bairros da área urbana da sede municipal	21
Bairros selecionados	22

Fonte: IBGE - PNSB, 2008.

Org.: MORAIS, 2013.

### **3. PROPOSTA DE TRATAMENTO ALTERNATIVO PARA OS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DE UBERLÂNDIA**

O município de Uberlândia localiza-se na microrregião do Triângulo Mineiro, pertencente à mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, no Estado de Minas Gerais, região Sudeste do Brasil. O município abriga uma população de 619.536 habitantes, sendo que 594.938 habitantes constituem a população urbana, possuindo uma unidade territorial de 4.116 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2012), com uma área urbana correspondente a 217 Km<sup>2</sup> (IBGE, 2010).

Uberlândia ocupa uma posição estratégica no centro do Brasil, sendo servida por cinco rodovias federais de grande importância para as regiões Sudeste, Centro-oeste e Norte. Esta condição permite que a cidade sirva como um ponto de passagem e contato com diversos centros comerciais e consumidores do país, como São Paulo, Belo Horizonte, Goiânia e Brasília. Conta também com uma estrada de ferro que corta o Triângulo Mineiro interligando os estados de São Paulo e Goiás na direção norte-sul. A malha rodoviária liga o município aos principais mercados do país (PMU, 2011).

O município está situado no domínio dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, sendo drenado pelas bacias hidrográficas dos Rios Araguari e Tijuco. O Rio Araguari abrange a porção leste do município, seu principal afluente é o Rio Uberabinha que passa dentro da cidade. O Rio Uberabinha em conjunto com seus afluentes constitui-se no manancial utilizado para abastecimento de água da população. Os principais afluentes desse rio estão na zona rural, que são os Ribeirões Beija-Flor, Rio das Pedras e o Ribeirão Bom Jardim, sendo este último um importante manancial para o abastecimento de água do município (PMU, 2011).

Uberlândia está sob a influência de circulação dos sistemas atmosféricos tropicais com marcante alternância de estações úmidas e secas, que respondem pelas condições climáticas mais amenas e maior umidade relativa do ar. As chuvas de verão iniciam-se entre os meses de outubro a novembro (estação úmida), tornando-se mais raras a partir de março a abril (estação seca). A vegetação predominante do município é o cerrado e suas variáveis como veredas, campos limpos, campos sujos ou cerradinhos, cerradões, matas de várzea, matas de galeria ou ciliares e matas mesofíticas (PMU, 2011).

De acordo com o último censo do IBGE (2010), no período de 2000 a 2010, o índice de crescimento populacional do município foi de 20,5%, ocupando a posição de segundo

maior município mineiro em população, estando atrás apenas da capital mineira Belo Horizonte.

As atividades econômicas em Uberlândia se concentram nos setores de serviços, indústria e agropecuária. O setor de serviços é o que concentra o maior Produto Interno Bruto (PIB) do município numa ordem de 50,7%, seguido do setor industrial (24%) e, por último, o setor agropecuário (2,7%). O restante são impostos sobre produtos que equivalem 23% do PIB municipal. O PIB *per capita* é de R\$30,47 (IBGE, 2010).

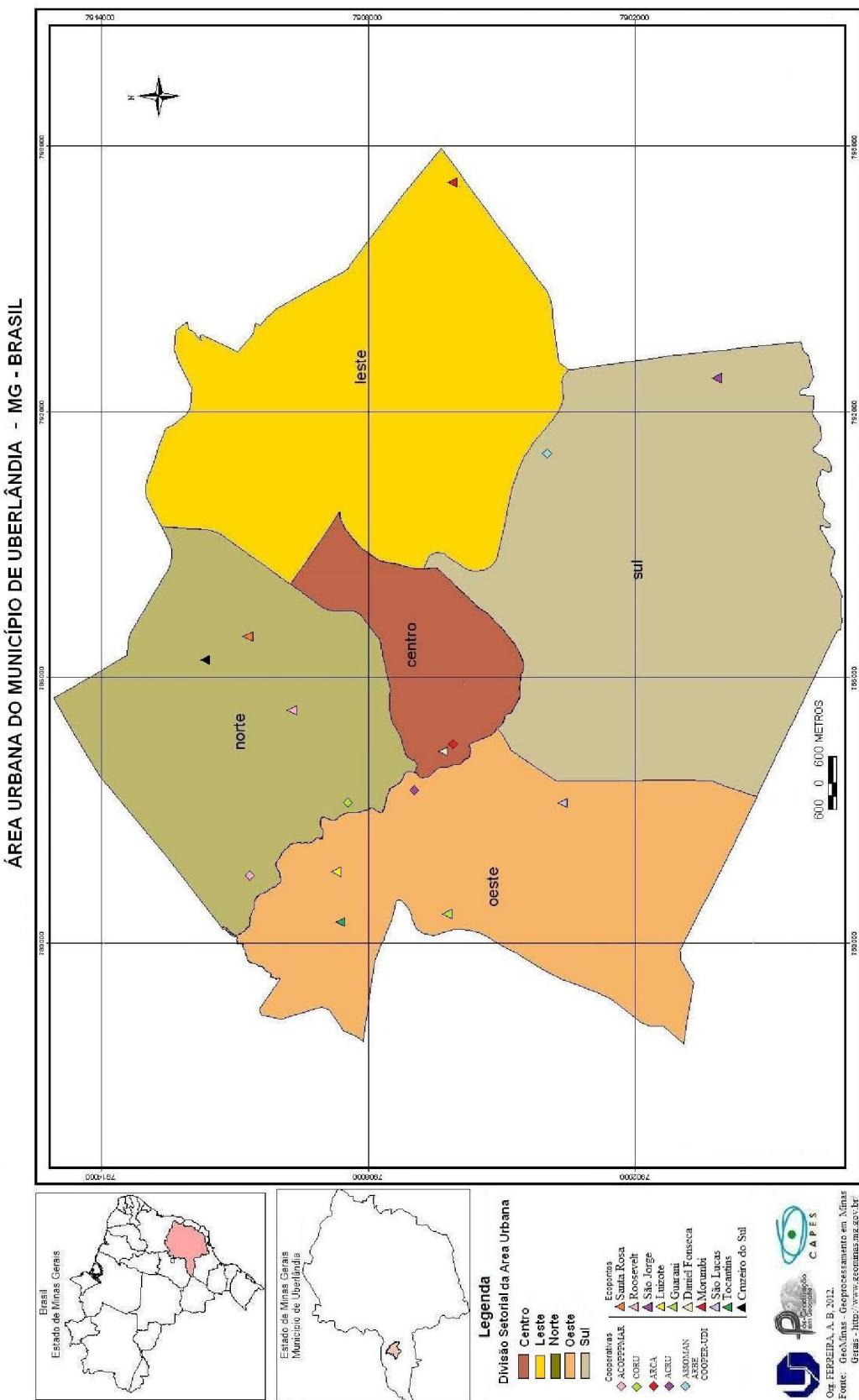
### **3.1 Cenário atual da situação dos resíduos sólidos urbanos em Uberlândia**

De acordo com os parâmetros do Programa Minas sem Lixões e da FEAM, Uberlândia está à frente de muitos outros municípios mineiros quanto à estrutura de disposição de resíduos sólidos urbanos. Possui dois aterros sanitários, sendo o primeiro inaugurado em 1995 e desativado em outubro do ano de 2010, quando foi inaugurado o segundo aterro sanitário. O primeiro aterro ocupou uma área de 15 hectares, já o segundo tem previsão para ocupar uma área de até 17 hectares, o que equivale a 320.000m<sup>2</sup> de área destinada a aterramento de lixo.

Segundo os dados do setor de Serviços Urbanos da PMU (2012), o aterro sanitário do município recebe em média 450 toneladas de resíduos por dia, o que equivale aproximadamente a 0,7 quilogramas de resíduos *per capita* dispostos no aterro diariamente. No mesmo período, 2000 a 2010, em que a população total do município teve um aumento de 20,5% (IBGE, 2010) a produção *per capita* diária de lixo aumentou em 3,7% (PMU, 2011).

O aterro sanitário está localizado próximo ao bairro Guarani na porção oeste da cidade. Na Figura 44, estão apresentados os setores urbanos de Uberlândia com a localização do aterro sanitário, das cooperativas de catadores e triadores de materiais recicláveis e dos Ecopontos da cidade.

**Figura 44 – Mapa da área urbana do município de Uberlândia.**



No aterro sanitário, além das 450 toneladas recebidas de resíduos sólidos urbanos, ainda são dispostos uma média diária de 64 toneladas de resíduos sólidos industriais classe II (inertes e não inertes) advindos de pessoas jurídicas. De acordo com a Secretaria de Serviços Urbanos da prefeitura, essas pessoas jurídicas pagam pela disposição e, o transporte e a coleta são de responsabilidade das próprias. O valor pago consiste em uma taxa que é cobrada de acordo com quantidade gerada de resíduos sólidos classe II. O valor dessa taxa é a partir de R\$74,00 e pode ser paga na própria prefeitura. Pessoas jurídicas que geram até seis toneladas por mês são isentas dessa taxa. A prefeitura solicita a essas pessoas jurídicas que utilizam o aterro sanitário, um Programa de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS). É vedado o aterramento dos resíduos sólidos recicláveis e sólidos classe I, os quais devem ser enviados para reaproveitamento e tratamento específico respectivamente.

A rede hospitalar de Uberlândia é geradora de resíduos sólidos classe I, que são considerados perigosos, apresentando características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, patogenicidade e toxicidade (ABNT, 2004). Os materiais perfurocortantes, materiais resultantes da atenção à saúde de indivíduos ou animais, sobras de amostras de laboratório e análises clínicas e, outros que trazem risco a saúde humana, são enviados para uma empresa especialista em tratamento de resíduos sólidos de saúde (RSS). As unidades de saúde como o Hospital de Clínicas de Uberlândia da Universidade Federal de Uberlândia, as Unidades de Atendimento Integrado (UAI), os postos de saúde dos bairros e os hospitais particulares, terceirizam com a empresa Sterlix Ambiental os serviços de coleta e tratamento desses resíduos. Os resíduos sólidos de saúde são tratados através da tecnologia de autoclave e o material esterilizado e descaracterizado é enviado ao aterro sanitário (PMU, 2012; STERLIXAMBIENTAL, 2012).

A empresa que realiza a coleta, transporte e a disposição de RSU no aterro sanitário é a Limpebrás Engenharia Ambiental. Ela também faz o controle e monitoramento do aterro sanitário. A Limpebrás atua em Uberlândia com uma frota de 32 caminhões e um total de 297 funcionários para a coleta convencional. Para cada caminhão, operam um motorista e três ou quatro garis, com turnos diferenciados. É gasto pela prefeitura de Uberlândia um total de R\$139,25 por tonelada de RSU para que seja coletado, transportado e aterrado (Quadro 2). Considerando uma geração de 450 ton/RSU/dia, há um gasto diário de aproximadamente R\$62.662,50 para a disposição do lixo no aterro.

**Quadro 2 - Valor pago por serviço à Limpebrás**

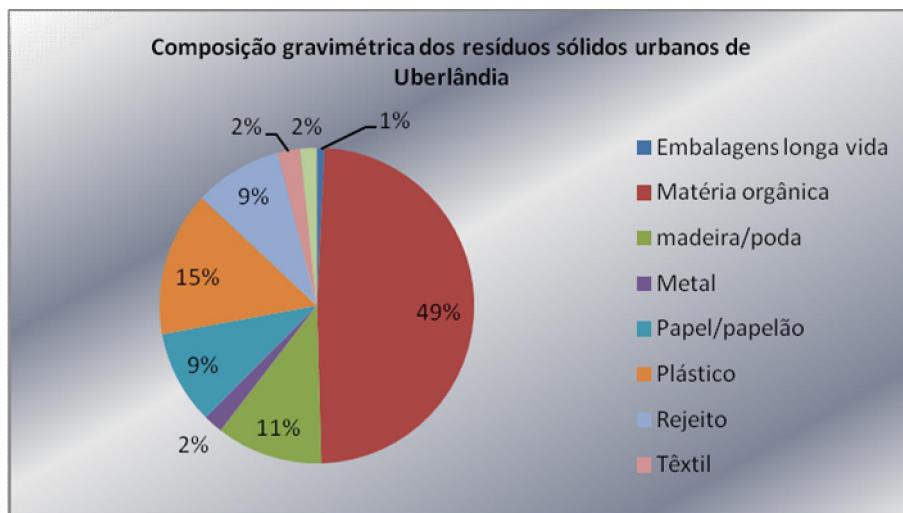
Serviço	Valor em R\$ por tonelada
Coleta e transporte	R\$78,68
Disposição (aterramento)	R\$60,57
Total por tonelada	R\$139,25

Fonte: PMU, 2013.

Org.: MORAIS, 2013.

Os resíduos sólidos urbanos que chegam ao aterro são em sua maior parte matéria orgânica (49%). Os resíduos domiciliares considerados perigosos compõem 0,1% do total de resíduos sólidos urbanos que chegam ao aterro. Esses resíduos considerados perigosos são as lâmpadas, pilhas, baterias e outros resíduos constituídos com metais pesados como mercúrio, lítio, cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco (PINTO-COELHO, 2009). Na Figura 45, se verifica a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Uberlândia recebidos no aterro. A porção de 0,1% dos resíduos sólidos perigosos não está no gráfico por não ser representativa em relação aos outros valores.

**Figura 45 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Uberlândia.**



Fonte: Limpebrás, 2010.

Org.: MORAIS, 2013.

A coleta seletiva que teve início em meados de janeiro do ano de 2010, também é feita pela Limpebrás. Para a coleta seletiva foi disposta uma frota de oito caminhões, operando com um motorista e dois coletores cada. A prefeitura tem um gasto de R\$170.000,00 por mês com esse tipo de coleta. Por se tratar de uma coleta especial e mais demorada, o serviço é cobrado por hora (PMU, 2013).

O programa de educação ambiental desenvolvido pela prefeitura para acompanhar e promover a coleta seletiva contou com abordagens porta a porta em cada bairro abrangido pela coleta seletiva. As escolas da rede pública de ensino, as escolas particulares e as faculdades localizadas nos bairros atendidos receberam agentes educadores da prefeitura para palestras educativas. Essas abordagens acontecem quando o projeto é iniciado no bairro. A prefeitura utilizou folhetos informativos, imãs de geladeira com os dias da coleta e cartazes como material de divulgação. Na Figura 46, é apresentado o folheto informativo frente e verso respectivamente.

**Figura 46 - Folheto informativo da coleta seletiva municipal**



Fonte: PMU, 2013.

O primeiro bairro a iniciar a coleta seletiva foi o Santa Mônica, que concentra aproximadamente 10 mil residências, sendo um total de 36 mil habitantes. A região produz cerca de 800 quilos de RSU por dia, desse total 18% podem ser destinados à reciclagem. O projeto se prolongou para os bairros adjacentes ao Santa Mônica (PMU, 2012).

As informações sobre os dias de coleta também estão disponibilizadas no site institucional da prefeitura. O projeto da coleta seletiva se estende a outros bairros

gradativamente, o intuito é que toda cidade seja abrangida e todo o público sensibilizado, diminuindo ao máximo os resíduos que ainda estão indo para o aterro sanitário.

Os caminhões da coleta seletiva passam em dias alternados com a coleta convencional. O horário da coleta seletiva é das 8hs às 17hs, no bairro Centro é realizada após as 18 horas devido ao comércio. Os dois funcionários, no cargo de coletores, identificam esse resíduo reciclável deixado pelos moradores na porta e o levam. Os caminhões são equipados com um aparelho sonoro, no qual os moradores identificam que é o caminhão da coleta seletiva. Alguns moradores aguardam a música do caminhão para então levarem seu resíduo até a porta. No Quadro 3, são apresentados os dias de atendimento do caminhão da coleta seletiva.

**Quadro 3 - Dias de atendimento do caminhão da coleta seletiva por bairro.**

Dias da semana	Bairros
Segunda-feira	Tibery, Dona Zulmira, Jardim Patrícia, Luizote de Freitas, Mansour e Centro.
Terça-feira	Santa Mônica e Segismundo Pereira (da Av. Anselmo Alves dos Santos até a Av. Segismundo Pereira), Martins, Bom Jesus e Osvaldo Resende
Quarta-feira	Fundinho, Tabajaras, Dona Zulmira, Jardim Patrícia, Luizot de Freitas e, Mansour e Centro.
Quinta-feira	Santa Mônica e Segismundo Pereira (da Av. Segismundo Pereira até a Av. João Naves de Ávila). Finotti, Martins, Bom Jesus e Osvaldo Resende.
Sexta-feira	Presidente Roosevelt e Centro.

Fonte: PMU, 2012.

Org.: MORAIS, 2013.

Os oito caminhões da coleta seletiva possuem uma pintura informativa indicando a especialidade da coleta. Na Figura 47, pode-se observar o caminhão chegando com o resíduo reciclável em uma das cooperativas da cidade, neste caso na Associação dos Catadores e Recicladores de Uberlândia (ACRU).

**Figura 47 - Caminhões da coleta seletiva**



Autor: MORAIS, 2012.

A população atendida pelo programa de coleta seletiva da prefeitura representa 34,8% da população total de Uberlândia. No ano de 2012, deixaram de ir para o aterro sanitário aproximadamente duas toneladas de resíduos sólidos reaproveitáveis. A média mensal desse material foi de 149 quilos coletados. Na Figura 48, observa-se que a quantidade total de material recolhido variou durante os meses, tendo um decréscimo de 12% no mês de dezembro em relação ao mês de janeiro. A maior quantidade coletada foi no mês de outubro em detrimento do mês de junho com a menor quantidade coletada, variando 24,2%.

**Figura 48 - Total de material reciclável coletado em 2012 (Kg/Mês).**



Fonte: PMU, 2013.

Org.: MORAIS, 2013.

As variáveis referentes ao decréscimo ocorrido de janeiro a dezembro de 2012 e as variações durante os meses nas quantidades de resíduos recicláveis coletados pelo programa, não compõem esse estudo. Entretanto, não exclui a acuidade em evidenciar a importância do fortalecimento do programa de educação ambiental municipal para que esses números aumentem, consequentemente, reduzindo a quantidade de resíduos recicláveis que chegam ao aterro sanitário.

Os resíduos recicláveis coletados vão para as cooperativas de catadores e triadores desses materiais. Nestes locais o material é triado e enviado para reciclagem ou reutilização. Os dois coletores auxiliam no descarregamento do caminhão. Cada cooperativa recebe proporcionalmente a mesma quantidade de material, excetuando os casos em que as cooperativas se encontram com muito material ainda não triado no local, evitando assim sua aglomeração.

O material que chega às cooperativas, oriundos da coleta seletiva, compõe-se, na sua maior parte, de papelão, enquanto outros materiais como plásticos e metais chegam em menor quantidade. O material reciclável colocado na porta pelos moradores dos bairros abrangidos pela coleta seletiva é costumeiramente triado por catadores não inclusos nas cooperativas. Dessa forma, aquele material com um valor comercial maior como os plásticos PET's (Politereftalato de etileno) e as latas de bebidas feitas a partir do alumínio são levadas por eles, chegando às cooperativas aqueles materiais com menor valor comercial. Na Figura 49, é possível visualizar o material que chega às cooperativas.

**Figura 49** - Material reciclável destinado às cooperativas.



Autor: MORAIS, Uberlândia, 2012.

A frota de coletas especiais, ainda incluem dois caminhões que são denominados de “cata treco”. Esses caminhões são destinados à coleta de objetos volumosos, ou seja, materiais como armários, sofás, colchões, mesas, geladeiras, máquinas de lavar, pedaços de móveis entre outros que comportam grande volume. Esses materiais, ao serem descartados em terrenos baldios ou áreas não edificadas, acarretam problemas públicos como obstrução de áreas, abrigo para organismos nocivos à saúde, contaminação ambiental, entre outras perturbações. O morador que necessitar do serviço pode entrar em contato via telefone com a Divisão de Limpeza Urbana e solicitar o recolhimento do material. O objeto recolhido será levado para um Ecoponto mais próximo ou para as cooperativas com objetivo de serem reaproveitados, caso não seja reaproveitado, posteriormente será enviado ao aterro sanitário. Na Figura 50, é possível visualizar o caminhão “cata treco”

**Figura 50** - Caminhão “cata treco”.



Foto: Daniel Nunes

Fonte: Blog da Saúde. Disponível em: <<http://saudeuberlandia.blogspot.com.br/2011/09/cata-treco.html>>. Acesso em: 07 fev. 2013.  
Autor: Daniel Nunes.

As cooperativas ou associações de catadores e triadores de materiais recicláveis são organizações importantes para a triagem e encaminhamento de resíduos sólidos recicláveis às vias de reaproveitamento. De acordo com a Lei Federal 12.305, sobre os planos municipais de gestão integrada de resíduos sólidos, ao implantar a coleta seletiva no município, este deverá incluir a participação de cooperativas ou outras formas de associações de catadores e triadores de materiais recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.

Em Uberlândia, havia apenas duas cooperativas para triagem de materiais recicláveis até o final do ano de 2010. Após a implantação da coleta seletiva no início do ano de 2011 até meados de 2012, mais cinco cooperativas se constituíram. Em um total de sete cooperativas ou associações estão a Associação de Catadores e Recicladores Autônomos (ARCA), Cooperativa de Recicladores de Uberlândia (CORU), Associação dos Coletores de Plástico, PET, PVC e outros Materiais Recicláveis (ACOPPMAR), Associação dos Catadores e Recicladores de Uberlândia (ACRU), Associação dos Catadores de Material Reciclável do Bairro Taiaman (ASSOMAN), Associação dos Catadores Boa Esperança (ARBE) e Cooperativa de Reciclagem e Coleta Seletiva (COOPER-UDI). Na Figura 51 é mostrada a fachada da cooperativa COOPER-UDI.

**Figura 51** - Fachada da cooperativa COOPER-UDI.



Autor: MORAIS, Uberlândia, 2012.

As associações e cooperativas estão com sedes em espaços cedidos pela prefeitura, porém com estruturas básicas insuficientes ou ausentes. Os espaços conferem galpões com estruturas precárias, há ausência de instrumentos para trabalho como esteiras, recipientes de armazenagem, espaços cobertos para separação de resíduos, entre outras. Os espaços destinados à alimentação e higiene dos trabalhadores também são deficientes. A Figura 52, mostra a estrutura interna da cooperativa ARBE, que apresenta estado precário dificultando a organização e movimento dos trabalhadores no local.

**Figura 52** - Espaço interno da cooperativa ARBE.



Autor: MORAIS, Uberlândia, 2012.

As organizações de catadores mais antigas foram beneficiadas por galpões de triagem bem estruturados. Foram construídos dois galpões de triagem, sendo um no bairro Santa Luzia e outro no bairro Jardim Brasília. As associações que foram alocadas nessas duas estruturas foram ARCA e CORU respectivamente. A Figura 53, exibe o galpão da ARCA, localizado no bairro Santa Luzia em Uberlândia.

**Figura 53** - Galpão de triagem da associação de catadores ARCA



Autor: MORAIS, Uberlândia, 2012.

As cooperativas e associações de catadores estão localizadas nos bairros das zonas urbanas de acordo com o quadro a seguir:

**Quadro 4 - Cooperativas e associações de catadores por bairro/zona.**

<b>Cooperativas e associações</b>	<b>Bairros</b>	<b>Zona</b>
ARCA	Santa Luzia	Sul
CORU	Jardim Brasília	Norte
ACOPPMAR	Distrito Industrial	Norte
ACRU	Daniel Fonseca	Central
ASSOMAN	Dona Zulmira	Oeste
ARBE	Dona Zulmira	Oeste
COOPER-UDI	Dona Zulmira	Oeste

Autor: MORAIS, 2012.

A quantidade de catadores trabalhando nessas organizações, ainda, é insuficiente devido à demanda de resíduos em Uberlândia. Os resíduos que chegam às cooperativas, muitas vezes, demoram ser triados devido à carência de trabalhadores. Em 2012, totalizaram 64 o número de trabalhadores nas cooperativas e associações. O Quadro 5, informa a quantidade de trabalhadores por cooperativa ou associação:

**Quadro 5 - Quantidade de trabalhadores por cooperativa ou associação**

<b>Cooperativas e associações</b>	<b>Número de trabalhadores</b>
ARCA	8
CORU	11
ACOPPMAR	13
ACRU	6
ASSOMAN	9
ARBE	7
COOPER-UDI	10

Fonte: PMU, 2013.

Org.: MORAIS, 2013.

Os materiais recebidos nas cooperativas são também de empresas que precisam destinar o seu resíduo sólido reciclável corretamente. Alguns materiais recebidos dessas empresas chegam em péssimas condições, dificultando o trabalho dos cooperados na triagem, além de ocasionar mau cheiro devido à produção de chorume. Esse material que chega sujo e contaminado por restos de comida em decomposição, restos de cigarro, guardanapos, lenços

ou outros materiais resultantes de higiene, diminuem o valor agregado do material. Dessa forma, esse material que poderia ser reaproveitado na cadeia produtiva e gerar renda para os catadores, muitas vezes, vai para o aterro sanitário. Os copos plásticos descartáveis são um exemplo desse material que chega sujo nas cooperativas. Na Figura 54, são evidenciados alguns materiais contaminados destinados pelas empresas às cooperativas.

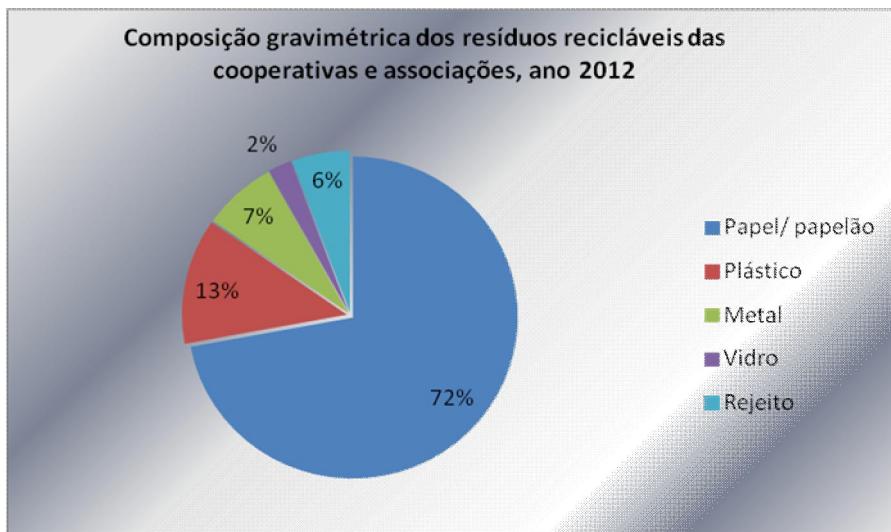
**Figura 54** - Materiais contaminados destinados pelas empresas às cooperativas.



Autor: MORAIS, 2012.

Os resíduos recicláveis que chegam até as cooperativas são na sua maior parte papel/papelão totalizando uma média de 72% desse material. O material de maior valor comercial são os plásticos e os metais, porém esses se limitam a uma média de 20% do total do material. A Figura 55, mostra a composição média gravimétrica dos resíduos sólidos recicláveis recebidos pelas cooperativas e associações no ano de 2012.

**Figura 55** - Composição média gravimétrica dos resíduos sólidos recicláveis recebidas nas cooperativas e associações de Uberlândia, ano 2012.



Fonte: PMU, 2013.  
Org.: MORAIS, 2013.

O programa de coleta seletiva conta com dez Ecopontos que auxiliam no recebimento de materiais reaproveitáveis. Esses são pontos de entrega voluntária onde o cidadão pode levar resíduos recicláveis, de construção, de limpeza de terreno e outros. O local é equipado com contêineres que recebem resíduos principalmente de construção e limpeza de terreno que são levados, na grande maioria, por carroceiros (Figura 56).

**Figura 56** - Contêineres para a recepção de resíduos de construção e limpeza de terreno.



Autor: MORAIS, 2012.

Os Ecopontos são estruturados com recipientes abastecidos de água e comida que são servidos aos cavalos dos carroceiros (Figura 57). Os carroceiros ainda podem cadastrar seu

animal para assistência veterinária gratuita. Esses benefícios servem como incentivo aos carroceiros para que destinem os resíduos de construção e de poda no Ecoponto mais próximo, evitando serem descartados em locais impróprios como áreas de drenagem e terrenos baldios.

Os materiais recebidos nos Ecopontos são estritamente de pessoas físicas, pois pessoas jurídicas são responsáveis pela própria destinação dos resíduos sólidos gerados em suas atividades, devendo estes agir em acordo com a legislação pertinente.

**Figura 57** - Estrutura para alimentação e dessedentação de cavalos



Autor: MORAIS, 2012.

Os Ecopontos estão localizados respectivamente por data de implantação nos bairros Luizote de Freitas, São Jorge, Santa Rosa, Guarani, Presidente Roosevelt, Daniel Fonseca, Morumbi, São Lucas, Tocantins e Cruzeiro do Sul em Uberlândia. Na Figura 58, é apresentada fachada de entrada do Ecoponto localizado no bairro Morumbi.

**Figura 58** - Fachada de entrada do Ecoponto do bairro Morumbi.



Autor: MORAIS, 2012.

A localização dos Ecopontos varia de acordo com geração de entulhos e podas e com a necessidade da população de destinar esses resíduos. A zona oeste de Uberlândia concentra a maior quantidade de Ecopontos por ser a mais populosa da cidade com 153.067 habitantes (PMU, 2011). No quadro 6, é evidenciada a zona urbana de localização dos Ecopontos.

**Quadro 6** - Zonas urbanas onde estão localizados os Ecopontos na cidade de Uberlândia.

Ecopontos	Zona Urbana
Luizote de Freitas	Oeste
São Jorge	Sul
Santa Rosa	Norte
Guarani	Oeste
Presidente Roosevelt	Norte
Daniel Fonseca	Central
Morumbi	Leste
São Lucas	Oeste
Tocantins	Oeste
Cruzeiro do Sul	Norte

Org.: MORAIS, 2013.

Nos Ecopontos, também são recebidos lâmpadas, pneus, móveis, eletrodomésticos, óleo de cozinha e materiais recicláveis de pessoas físicas. Esses materiais descartados nos pontos de coleta também podem ser solicitados pelo cidadão que tiver interesse de reaproveitá-lo.

No aterro sanitário de Uberlândia, atua a empresa Energás Geração de Energia operando na captação do metano com fins de geração de energia elétrica. A Energás é resultado de uma parceria entre a Limpebrás (empresa do setor de limpeza urbana e operação de aterros sanitários) e a Asja (líder na Itália em produção de energia renovável). A empresa iniciou suas operações em meados do mês de abril de 2012 no aterro que foi desativado em outubro de 2010.

A tecnologia usada é o gás de lixo, a qual já foi tratada neste trabalho. Os processos de responsabilidade da Energás serão explicados a seguir (PMU, 2012):

- A captação e o transporte do biogás: o biogás gerado a partir da decomposição do RSU depositado no aterro é captado por poços de até 40 metros de profundidade instalados no local. O sistema introduz a energia em forma de vácuo para controlar o fluxo de biogás e aspirá-lo (Figura 59).

**Figura 59** - Captação do biogás no aterro sanitário



Fonte: Energás, 2012.

- Tratamento e queima: o biogás passa por tratamento no filtro separador de partículas e no equipamento trocador de calor. Em seguida, é direcionado para as estações de aspiração e controle, onde está instalado o *flare*, que é um mecanismo de alta eficiência em destruição de metano (Figura 60).

**Figura 60 - Sistema de aspiração e controle**



Fonte: Energás, 2012.

- Geração de energia elétrica: nesta etapa, o material resultante do tratamento e da queima é transformado em combustível para posterior geração de energia elétrica (Figura 61).

**Figura 61 - Sistema gerador de energia elétrica**



Fonte: Energás, 2012.

A energia gerada no processo é vendida para a Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (CEMIG). A energia disponibilizada para a CEMIG chega a 1,4 megawatts (MWh), sendo capaz de atender mais de 20 mil pessoas, equivalendo ao atendimento de 5% da população überlandense.

A exploração do gás de lixo no aterro sanitário da cidade tem uma expectativa de 8 a 9 anos. Esta tecnologia é útil para evitar a eliminação do metano ( $\text{CH}_4$ ) na atmosfera, além de utilizar o biogás para geração de energia, porém ainda há gases fugidios e a ineficiência do

processo atinge 40%. Não há projetos de engenharia para reabilitação ou reuso dessa área após a exploração do biogás. Essa área ficará inativa novamente.

### **3.2 A construção de uma nova paisagem para Uberlândia.**

Uberlândia possui uma estrutura de gerenciamento de resíduos sólidos à frente de muitos outros municípios mineiros, todavia estudar melhorias no tratamento e reaproveitamento desse resíduo, no intuito de diminuir os impactos socioambientais que o descarte impensado e a crescente geração podem causar, se torna necessário. A busca de melhores tecnologias disponíveis e, se possível, cogeradoras de energia, no tratamento de resíduos sólidos urbanos, deve caminhar juntamente a programas de educação ambiental que beneficiem a sociedade.

A adaptação do Projeto Natureza Limpa ao escopo de Uberlândia poderá aumentar o reaproveitamento de resíduos sólidos recicláveis, usar o potencial energético da porção orgânica e diminuir o uso de áreas para o aterramento de resíduos. Esses resultados geram outros de cunho financeiro como geração de créditos de carbono e diminuição do passivo ambiental oriundo dos aterros sanitários existentes.

A quantificação do carbono é feita com base em cálculos que demonstram a quantidade de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) a ser removida ou a quantidade de gases do efeito estufa que deixará de ser lançada na atmosfera através da efetivação de algum projeto ambiental (ICB, 2013). A medida internacional foi criada com o objetivo de medir o potencial de aquecimento global (GWP – Global Warming Potential) de cada um dos seis gases causadores do efeito estufa: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorcarbonos (HFCs), perfluorcarbonos (PFCs), hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ) (QUIOTO, 1997). Foi estabelecido que cada crédito de carbono equivale a uma tonelada de dióxido de carbono equivalente (ICB, 2013).

A geração de créditos de carbono pode ser negociada através da elaboração de um projeto que seja aprovado pelo Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). O MDL foi criado a fim de conceder créditos para projetos que reduzam ou evitem emissões de gases de efeito estufa (GEE) nos países em desenvolvimento. Desta forma o MDL envolve a compra, pelos países desenvolvidos, de certificados de redução de emissões de carbono (créditos de carbono) dos países em desenvolvimento, os quais não têm metas de redução de emissões. Os créditos de carbono são obtidos na forma de Reduções Certificadas de Emissões (RCE). O MDL é um mecanismo de grande importância, pois funciona como um canal pelo qual os

governos e as corporações privadas transferem tecnologias limpas na tentativa de promoverem o desenvolvimento sustentável (FELIPETTO, 2007).

Os créditos de carbono obtidos geram saldos positivos ambientais e creditícios para contrabalancear o passivo ambiental existente referente aos aterros sanitários. O passivo ambiental representa toda e qualquer obrigação de curto e longo prazo, designadas exclusivamente a promover investimentos em prol de ações relacionadas à extinção ou amenização dos danos causados ao meio ambiente. O surgimento dos passivos ambientais dá-se pelo uso de uma área, lago, mar e todos os demais espaços que compõem o meio ambiente, inclusive o ar que se respira e, que de alguma forma está sendo prejudicado, ou ainda pelo processo de geração de resíduos (KRAEMER, 2007).

Sobre os projetos do MDL, existem metodologias aprovadas sobre empreendimentos de gestão de resíduos sólidos, que versam sobre projetos, em que os resíduos orgânicos originalmente destinados para aterros sanitários são tratados através de compostagem, digestão anaeróbica, gaseificação e combustível derivado de rejeito. Esses projetos evitam a emissão de GEE, entre os quais CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e N<sup>2</sup>O (FELIPETTO, 2007).

O convênio que poderá ser criado entre a Prefeitura Municipal de Uberlândia com a TJMC Empreendimentos, para correlacionar a tecnologia disposta no Projeto Natureza Limpa ao gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, existente em Uberlândia, deverá ser primeiramente de integração das rotas tecnológicas. A etapa pós-implantação do projeto deverá vir seguida de estudos, por parte da gestão municipal, de quantificação e composição gravimétrica dos resíduos que ainda estarão indo para o aterro sanitário e, por conseguinte sua erradicação. Ambas as etapas deverão ser acompanhadas por programas de educação ambiental que atendam a toda comunidade überlandense.

A integração do sistema Natureza Limpa ao gerenciamento de resíduos sólidos de Uberlândia se dará a partir da instalação da primeira vertente que é a mais relevante, pois trará transformações no gerenciamento de resíduos sólidos da cidade de forma que a segunda e terceira vertente se instalarão após resultados positivos da adaptação da primeira.

A implantação iniciará com a instalação de cinco setores de recepção e direcionamento, parte da primeira vertente do projeto que é de reciclagem/carbonização por pirólise com geração de combustível briquetado. As cinco estruturas estarão dispostas nas cinco zonas urbanas de Uberlândia com capacidade para a quantidade de habitantes.

Com base nas informações de zoneamento urbano da prefeitura (2011), foi previsto a capacidade de cada usina que chegará a um total de 600 toneladas dia. A mão de obra prevista para funcionamento em dois turnos das usinas será de 348 trabalhadores. Estes trabalhadores

poderão ser aqueles que já trabalham com RSU como os catadores e triadores de materiais recicláveis. Será utilizada uma área total de 6.600 m<sup>2</sup> para a implantação das cinco usinas. No Quadro 7, são identificadas a localização, capacidade, mão de obra utilizada e área de implantação de cada estrutura de recepção e direcionamento.

**Quadro 7 -** Localização, capacidade, mão de obra e área de implantação de cada usina de recepção e direcionamento.

Zona	População (hab.) *	Capacidade da usina (Ton.)	Previsão operacional (ton/dia)	M.O. p/ 2 turnos **	Área implantação m <sup>2</sup>
Norte	98.267	100	79	61	1200
Sul	131.016	120	105	70	1200
Leste	137.026	130	110	74	1200
Oeste	153.067	150	122	82	1500
Central	84.903	100	68	61	1200
Total	604.279	600	483	348	6600

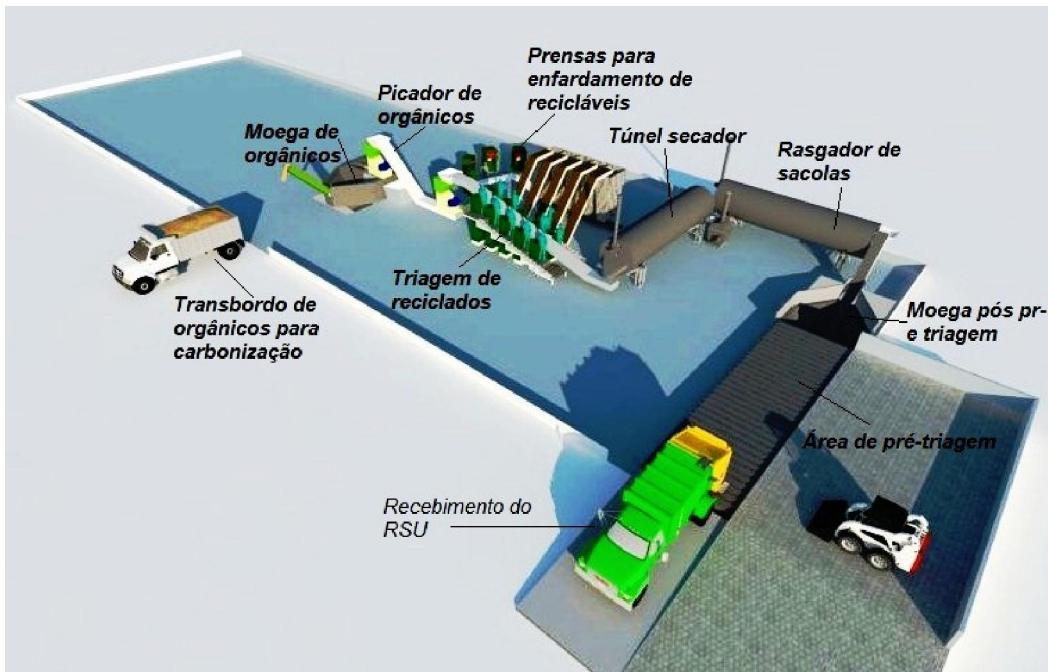
\* Dados zoneamento IBGE, PMU, 2011.

\*\* mão de obra para 2 turnos.

Adapt.: TJMC Empreendimentos, 2013.

Estudos sobre a localização específica de implantação de cada usina, acima mencionada, não são objetivos dessa pesquisa, pois obedecem a metodologias específicas de gestão municipal. As usinas de recepção e direcionamento para as rotas de reciclagem ou carbonização contarão com as etapas de recebimento, triagem, dilaceração de sacolas, secagem, prensagem, moagem e transbordo de orgânicos para o setor de carbonização. Essas etapas podem ser evidenciadas na Figura 62.

**Figura 62 - Esquema das etapas de cada usina de recepção e direcionamento.**



Fonte: Arquivos internos Projeto Natureza Limpa, 2013.

A localização da usina de carbonização foi prevista preferencialmente, próximo ao aterro sanitário em operação. A usina de carbonização projetada para Uberlândia terá capacidade para 400 toneladas de RSU por dia. Para o funcionamento da usina será necessário um total de 51 funcionários para dois turnos operacionais e 12 funcionários para um turno administrativo. A usina de carbonização utilizará uma área total de 2.000 m<sup>2</sup> para implantação. A usina de carbonização é composta pelo reator pirolítico (Figura 63) e pelas estações de tratamento de efluentes líquidos (Figura 64) e gasosos (Figura 65).

**Figura 63 - Reator pirolítico**



Fonte: Arquivos internos Projeto Natureza Limpa, 2013.

**Figura 64 - Estação de tratamento de efluentes líquidos**



Fonte: Arquivos internos Projeto Natureza Limpa, 2013.

**Figura 65** - Estação de tratamento de efluentes gasosos



Fonte: Arquivos internos Natureza Limpa, 2013.

Dada a instalação da primeira vertente do Projeto Natureza Limpa (reciclagem/carbonização), os resíduos sólidos urbanos serão enviados às usinas mais próximas (por zoneamento) pelos caminhões da Limpebrás, ou outra empresa licitada. No recebimento desses resíduos, eles passarão pelos processos da tecnologia adotada (Ver item 2.1.1 p. 65) onde terão os seguintes encaminhamentos:

- Resíduos sólidos recicláveis: serão encaminhados para as empresas de reciclagem, compreendem 29% do RSU da cidade.
- Resíduos sólidos orgânicos: serão encaminhados para a usina de carbonização para a geração de briquetes de carvão, compreendendo 59,6% do RSU.
- Rejeitos: esses resíduos representam 11,3%, para essa parcela que se compõe de resíduos de higiene pessoal, resíduos têxteis e outros resíduos que não incorporam valor de mercado, deverão compor a massa pirolisada somente após análises de emissão de efluentes gasosos. Após, as análises deverão ser aprovada pelo órgão ambiental responsável com base nos padrões vigentes de emissão de gases. Esse controle se deve ao fato de que alguns materiais podem conter cloro em sua composição. A consequência é a eliminação gasosa de dioxinas e furanos que são uma classe de hidrocarbonetos clorados formados como subproduto não intencional de processos químicos, térmicos e biológicos. Essas substâncias estão entre as mais cancerígenas conhecidas, representando grande risco à saúde ambiental (ASSUNÇÃO, PESQUERO, 1999; UPAN, 2005). Caso, após as análises, não sejam atendidos às normas de emissão de gases, esses resíduos deverão seguir para o aterro sanitário, até que possam ser reaproveitados em outras tecnologias disponíveis.

- Resíduos sólidos perigosos: para esses resíduos que representam 0,1%, devem ser estabelecidos planos específicos de logística reversa. As lâmpadas, pilhas e baterias deverão voltar ao ciclo de distribuição reverso, desenvolvido pela TJMC Empreendimentos com supervisão da Prefeitura.

A coleta seletiva, nesse novo cenário, continuará a ser exercida. Os resíduos recicláveis continuarão a ser enviados às cooperativas, sendo a coleta seletiva um facilitador para que a volta deste material ao ciclo produtivo seja breve. A coleta seletiva evita também que o material passe por rotas contaminantes. Essa contaminação acontece, quando o material entra em contato com restos de comida, óleos, rejeitos ou outros contaminantes, se tornando inviável para reaproveitamento através das tecnologias disponíveis.

É importante evidenciar que o setor privado tem um vasto campo de projetos nos quais podem se enquadrar, usufruindo de benefícios fiscais. Os briquetes de carvão, gerados pelo processo de pirólise na usina de carbonização, poderão ser vendidos para as indústrias que utilizam a queima de carvão vegetal para geração de energia. Essas indústrias poderão se beneficiar através da dedução do tributo base ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços), no caso específico é chamado de ICMS Ecológico. Essa derivação foi criada “a partir da necessidade da administração pública de encontrar alternativas para o fomento de atividades econômicas pautadas nas regras de proteção ambiental e do desenvolvimento sustentável nos seus municípios” (SEMAD, 2012). As indústrias ainda poderão se favorecer a redução do passivo ambiental existente, oriundo de suas atividades.

A segunda vertente do Projeto Natureza Limpa (reciclagem com compostagem e produção de fertilizantes), que é indicada para erradicação do aterro sanitário, poderá ser implantada no aterro em operação. Essa vertente é recomendada após a adaptação e obtenção de resultados da primeira vertente já instalada. É um processo mais complexo (Ver item 2.1.2 p. 69), pois envolve o tratamento de um resíduo já em processo de decomposição. Essa vertente admite as etapas de secagem, triagem, compostagem, balanceamento, granulação e ensaque, que ocorrerá até o esgotamento dos resíduos depositados. Os resíduos recicláveis desse processo serão encaminhados para indústrias de reciclagem, a parcela orgânica se tornará composto. A produção de fertilizantes consumirá uma média diária de RSU a ser definido por contrato com a Prefeitura, ficando a cargo da contratante a remoção dos resíduos dos depósitos antigos existentes. Além disso, na fabricação do composto será consumida parte da biomassa procedente de resíduos de produtos da agroindústria local. O setor primário é um consumidor em potencial desse fertilizante produzido.

Os benefícios da erradicação do aterro se estendem desde a redução do passivo ambiental existente até a geração de créditos de carbono devido à transformação desse resíduo em composto. O processo de compostagem tem metodologia já aprovada pela Organização das Nações Unidas (ONU) para projetos do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

A instalação da segunda vertente necessitará de uma unidade para as fases preparatórias e de uma usina para a produção de fertilizantes, as quais as etapas já foram descritas no capítulo 2. A capacidade da usina e mão de obra contratada será de acordo com o convênio estabelecido entre as partes (contratante e contratada). As unidades deverão ser instaladas no aterro em operação. A área da disposição das leiras de compostagem deverá ser estabelecida também nas proximidades do aterro. É importante evidenciar, que essa vertente somente será contemplada, após se constatar o desuso do aterro sanitário, ou diminuição representativa do uso. Dessa forma, evita-se a geração de custos onerosos referentes a contratos anteriores de aterramento dos resíduos.

O aterro sanitário desativado continuará com a exploração do biogás, aproveitando o estágio avançado de decomposição do resíduo depositado. Projetos de engenharia, para a posterior utilização dessa área, poderão ser realizados durante os nove anos de exploração do gás de lixo no local.

A terceira vertente do Projeto Natureza Limpa (fabricação de agregados de cimento para a construção civil), se pautará na instalação de duas estruturas modulares, uma para preparação e Trituração do material e outra para a produção do agregado de cimento (Ver esquema das etapas nas figuras 32 e 33 p. 71-72). A localização dessas unidades poderão se instalar na zona oeste da cidade, a qual comporta a maior quantidade de Ecopontos e número de habitantes, ou zona rural próxima. Essa vertente poderá se utilizar dos restos de demolição que chegam nos Ecopontos, se tornando uma matéria-prima gratuita além de incrementar benefícios para Prefeitura referentes à diminuição de passivos pela má destinação desse material. O mercado local ou convênios estabelecidos com programas de habitação poderão utilizar esse material produzido.

Nessa nova perspectiva, os Ecopontos continuarão exercendo sua função programada. Entretanto, os restos de podas e madeiras procedentes de limpeza de terrenos serão enviados para a usina de carbonização como matéria-prima para o carvão pirolítico. Os restos de demolição de construção civil servirão de matéria-prima para a fabricação de agregados de cimento e, a partir de convênios retornarão mais baratos para os projetos de habitação, obtendo ganhos para a sociedade. Na Figura 66, é possível visualizar o material originário de podas de árvores que chegam até os Ecopontos.

**Figura 66** - Material originário de podas de árvores, Ecoponto Daniel Fonseca.



Autor: MORAIS, 2012.

Todo esse novo cenário com a integração das vertentes do Projeto Natureza Limpa ao escopo de Uberlândia, deverá ser apoiado por meio de programas de educação ambiental que sejam dedicados e não pontuais como acontecem atualmente no município. Ao desenvolver estruturas que alterem o hábito do cidadão, se torna preciso educá-lo para atender a nova perspectiva. Alterar modos tradicionais de encarar o lixo como algo em processo e não como algo findo é laborioso.

O processo de educação ambiental a ser trabalhado, desperta a necessidade de um caráter integral que promova o conhecimento dos problemas ambientais em seu conjunto e os vincule às causas (COLESANTI, 1994). O programa a ser efetivado em Uberlândia carecerá de constância, objetivando ascendência aos resultados.

A promoção da educação ambiental na cidade deverá alcançar um caráter primeiramente informativo, induzindo o cidadão ao conhecimento de cada material descartado em casa. E ainda, demonstrar a importância de cada material dentro da nova linha de transição dos resíduos sólidos urbanos, identificando suas rotas de tratamento. As informações deverão ser veiculadas publicamente através de informes impressos, palestras, abordagens porta a porta, informações no site da Prefeitura e também pela televisão. Os trabalhos deverão seguir cada vez mais abrangentes, com publicação de resultados em eventos municipais e outros veículos de informação. Caso o município venha a receber premiações, deverão ser compartilhadas com a população.

Os trabalhadores das cooperativas, Ecopontos e todos aqueles vinculados ao novo gerenciamento de resíduos sólidos urbanos da cidade devem receber da mesma forma

programas educativos para que sejam incentivadores da nova perspectiva adotada pelo município.

Os programas de educação ambiental carecem de uma reflexão profunda sobre os padrões de consumo da sociedade. Se atentar apenas à coleta seletiva com o direcionamento de resíduo para tratamento específico, não pode ser encarado como solução, mas alternativa. As soluções devem se pautar na revisão da necessidade de consumo, levando o cidadão a refletir sobre o modo de produção e o valor dado aos objetos.

O indivíduo deve apreender o ambiente a partir do potencial ecológico da natureza e dos sentidos culturais que mobilizam a construção social (LEFF, 2010). Nesse sentido, o indivíduo se reconhece como cidadão transformador do meio em que vive. Assim, a educação ambiental passa a ser uma das soluções para combater junto aos empreendimentos governamentais e empresariais, a crise ambiental do mundo (COLESANTI, 1994).

Os incentivos educacionais devem vir de cada movimento e inovação dada pela Prefeitura de Uberlândia. É preciso vincular as necessidades de mudança a fatos positivos de atuação, como a alteração da visão do que é lixo, a partir da nova estrutura de tratamento e destinação. Os resíduos sólidos urbanos, nessa inovadora atuação de governança municipal, passam a ser vistos como elementos de ascensão socioambiental.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observar o entorno, se ver dentro dele, saber que a cada objeto que se adquire, que forma se trata um tipo de relação, seja com as coisas ou com a sociedade, nos retorna de forma recíproca. Essa pesquisa veio da necessidade de mudar a forma como se trata o meio, a sociedade e os objetos.

Primeiramente, foi percebido que mesmo com a urgência que a sociedade tem de mudança, toda inovação é recebida com resistência. Estar receptivo a novas ideias, a movimentos de parte da sociedade que trabalham para a evolução, são características de um investigador.

Investigar novas tecnologias para tratamento dos resíduos sólidos urbanos de Uberlândia veio inicialmente, de uma perspectiva de que o tratamento deveria gerar energia elétrica para atender uma necessidade urgente da sociedade atual. Entretanto, em contato com pesquisadores de outros lugares do Brasil, foi possível perceber, que se deve focar no melhor aproveitamento de cada resíduo, mesmo que isso não implique necessariamente a produção de eletricidade. Portanto, o objetivo pode, por vezes, não percorrer um caminho que respeite o meio ambiente e o meio social. E os resultados, deste caminho mal escolhido, podem atender inicialmente uma necessidade da sociedade, mas provocar outras de valores inestimáveis.

A adoção da nova alternativa para tratamento de resíduos sólidos urbanos em Uberlândia, através do tratamento específico de cada resíduo, direcionando-o à melhor rota tecnológica disponível, ocasiona resultados positivos para o meio ambiente. Os resultados são diminuição de emissões de gases de efeito estufa, aproveitamento do potencial energético da biomassa, retorno de matéria-prima ao mercado produtivo e ainda diminuição ou extinção de impactos ambientais decorrentes da má disposição dos resíduos.

Os ganhos sociais se pautam na melhoria da saúde ambiental e uso de saldos creditícios positivos em benefício comum. A diminuição de áreas designadas à disposição de resíduos, a redução de impactos ocasionados pelo lixo e a geração de renda advinda do novo caminho percorrido por esse resíduo são saldos positivos para a comunidade überlandense. O uso, pela governança municipal, do balanço positivo das substituições e deduções fiscais, dos créditos de carbono advindos de projetos de melhoria ambiental e da diminuição de passivos ambientais, poderão retornar em benefício para a cidade.

Os custos financeiros, embora tenham sido levantados na caracterização da situação dos resíduos sólidos urbanos de Uberlândia, não compõem os objetivos desse trabalho, todavia, foram indicados meios de ganhos financeiros a partir da implantação da tecnologia

sugerida. As despesas de investimentos e cotação de serviços procedentes da adoção do Projeto Natureza Limpa, não foram disponibilizadas pela TJMC Empreendimentos, pois por depender de pesquisas finais de adequação da tecnologia aos padrões dos órgãos ambientais responsáveis, ainda estão em avaliação.

O Projeto Natureza Limpa, mesmo dependendo de pesquisas finais de adequação aos parâmetros de eliminações residuais vigentes de parte dos processos da tecnologia, é indicado para adoção pelos governos municipais e, neste caso específico, pela Prefeitura Municipal de Uberlândia. A dificuldade que o Projeto encontra é justamente por não ter um parâmetro de comparação por parte dos órgãos ambientais, sendo uma iniciativa inovadora, ainda não há modelos operando. E nesse sentido, verifica-se a necessidade de inovação também da legislação atual, trazendo um campo do direito ambiental a ser aprofundado.

A cidade de Uberlândia, em seu atual cenário de desenvolvimento e crescimento, carece de se atentar às transformações que são inevitáveis, levando em consideração o modelo de exploração e deterioração que a comunidade global adotou. A adequação de toda inovação em auxílio às necessidades do planeta deve vir acompanhada de uma reapropriação do meio. O modelo proposto para Uberlândia é uma reação científica a um mau comportamento condicionado pelos padrões de consumo e produção da sociedade. Repensar a questão do lixo vem da ânsia de redesenhar a paisagem que se apresenta em degradação.

A reconstrução do espaço em função não só da necessidade em minimizar uma crise ambiental, vem da necessidade da reorganização do ser social e do redescobrimento do ser coletivo. A busca da transformação do ser individual ao ser cidadão, daquele que transforma e traz em ações características de bem comum. Como bem descreveu Leff (2010) a “crise ambiental não é crise ecológica, mas crise da razão” e quanto os “problemas ambientais são, fundamentalmente, problemas do conhecimento” (p.217).

A educação do ser individual, que o chame à ação em âmbito coletivo para benefício comum, se revela o maior desafio. O indivíduo não se encontra preparado, mas já existe nele o potencial que deve ser desenvolvido. A educação ambiental para a sociedade deve vir de bases paradigmáticas profundas, despertando o indivíduo a uma reapropriação da natureza.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** Brasília: ANEEL, 2002.

AMIBENTEBRASIL. **Resíduos Sólidos.** Disponível em:  
[<http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos.html>](http://ambientes.ambientebrasil.com.br/residuos.html). Acesso em: 02 fev. 2012.

ANALÍTICA. **Relatório Técnico de Avaliação de efluentes gasosos e cinzas de combustão da pirólise.** Cuiabá, agosto de 2011. 7 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESIDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, ano 2011.** São Paulo: ABRELPE, 2011. Disponível em: <[http://www.abrelpe.org.br/panorama\\_apresentacao.cfm](http://www.abrelpe.org.br/panorama_apresentacao.cfm)>. Acesso: 14 mai. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO. **Fluxo da reciclagem da lata de alumínio.** Disponível em: <<http://www.abal.org.br/reciclagem/fluxo.asp>>. Acesso em: 16 jul. 2012.

ASSUNÇÃO, J. V. de; PESQUERO, C. R. Dioxinas e Furanos: origens e riscos. **Revista de Saúde Pública.** V. 33, n. 5, p. 523 -530, outubro, 1999. Disponível em:  
[<http://dioxinas.upan.org.br/dioxinas\\_fontes.pdf>](http://dioxinas.upan.org.br/dioxinas_fontes.pdf). Acesso em: 03 mar. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004:** Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **NBR 8419.** Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. **Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos.** São Carlos: EESC/USP, 1999. 120 p.

BIZZO, W; GOLDSTEIN Jr., L. Incineraão de lixo urbano com geração de energia elétrica. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, 1995. Campinas: Unicammp, 1995. 6 p.

BLOG BRENDAMARTINS. **Fluxograma do Ciclo da Reciclagem.** Disponível em:  
[<http://brendamartins15.blogspot.com.br/2010/05/ciclo-da-reciclagem.html>](http://brendamartins15.blogspot.com.br/2010/05/ciclo-da-reciclagem.html). Acesso em: 15 jul. 2012.

BRASIL. **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Brasília, DF, 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em:  
[<http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm>](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 15 jun. 2011.

CAIXETA, D. M. **Geração de energia elétrica a partir da incineração de lixo urbano:** O caso de Campo Grande – MS. Brasília: UNB, 2005. 86 p. Monografia de Especialização. Curso de Pós-graduação Lato Sensu em Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

CAMPO FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO VEGETAL LTDA. **Relatório Técnico de Avaliação da fumaça da queima do briquete de carvão.** Paracatu, março de 2012. Relatório Técnico de Monitoramento Atmosférico. 11 p.

COLESANTI. M. T. M. **Por uma Educação Ambiental:** O Parque do Sabiá, em Uberlândia, MG. Rio Claro: UNESP, 1994. 174 f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Curso de Pós-graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1994.

**COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. Publicações.** 2010. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/artigos.php>>. Acesso em: 05 maio 2012.

CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL. Deliberação Normativa nº 172, de 22 de dezembro de 2011. Institui o Plano Estadual de Coleta Seletiva de Minas Gerais. **Diário do Executivo [de] Minas Gerais.** Belo Horizonte, MG, 23 dez. 2011. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=20096>>. Acesso em: 25 fev. 2013.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE. Resolução nº 275 de 25 de abril de 2001. Estabelece o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores e transportadores, bem como nas campanhas informativas para a coleta seletiva. **Documento Oficial da União.** Brasília, 19 jun. 2001. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=273>>. Acesso em: 05 maio 2012.

\_\_\_\_\_. Resolução nº 316 de 29 de outubro 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos. **Documento Oficial da União.** Brasília, 20 nov. 2002. Disponível em: <[http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsulegis\\_12.pdf](http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/rsulegis_12.pdf)>. Acesso em: 05 maio 2012.

CORREIO DE UBERLÂNDIA . **Novo aterro sanitário.** Disponível em: <[http://www.correiodeuberlandia.com.br/texto/2010/07/20/46427/uberlandia\\_tera\\_novo\\_aterr\\_o\\_sanitar.html](http://www.correiodeuberlandia.com.br/texto/2010/07/20/46427/uberlandia_tera_novo_aterr_o_sanitar.html)>. Acesso em: 29 nov. 2010.

ECOLOGIA ONLINE. **Código de cores para os diferentes tipos de resíduos.** Disponível em: <<http://www.ecologiaonline.com/lixeras-coloridas-facilitam-a-coleta-seletiva/>>. Acesso em: 13 jul. 2012.

ENERGÁS. **Captação de gás de lixo no aterro de Uberlândia.** Disponível em: <[arnaldo@energas.com.br](mailto:arnaldo@energas.com.br)>. Acesso em: 18 de julho de 2012.

\_\_\_\_\_. **Fotos dos equipamentos de captação e transformação do gás de lixo.** Arquivos Internos. 18 de julho de 2012.

ESSENCIS. Soluções Ambientais. **Incineração.** Disponível em: <<http://www.essencis.com.br/solucoes-ambientais/tratamento-e-destinacao-de-residuos/incineracao>>. Acesso em 10 mar 2012.

- FELIPETTO, A. V. M. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo aplicado a resíduos sólidos:** Conceito, planejamento e oportunidades. Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 48 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_publicacao/125\\_publicacao12032009023847.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_publicacao/125_publicacao12032009023847.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2013.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Minas sem lixões.** Disponível em: <<http://www.feam.br/minas-sem-lixoes>>. Acesso em: 10 mar. 2012.
- \_\_\_\_\_. **Minas sem Lixões.** Disponível em: <[francisco.fonseca@meioambiente.mg.gov.br](mailto:francisco.fonseca@meioambiente.mg.gov.br)>. Acesso em: 23 fev. 2013.
- \_\_\_\_\_. **Panorama da destinação de resíduos sólidos em Minas Gerais:** relatório de progresso ano base 2011. 19 p.
- \_\_\_\_\_. **Unidades de Triagem e Compostagem (UTC).** Disponível em: <[marcilla.pena@meioambiente.mg.gov.br](mailto:marcilla.pena@meioambiente.mg.gov.br)>. Acesso em: 27 fev. 2013.
- GEOCITIES. **Reator pirolítico.** Disponível em: <<http://www.geocities.ws/reciclagem2000/pirolise.htm>>. Acesso em: 11 ago. 2012.
- GRIPP, W. G. **Aspectos técnicos e ambientais da incineração de resíduos sólidos urbanos:** considerações sobre a proposta para São Paulo. São Carlos: 1998. 208 p. Dissertação de Mestrado em Hidráulica e Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos. 1998.
- G1. **Esquema de usina de incineração.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/06/sp-vai-licitar-primeira-termeletrica-movida-lixo-do-brasil.html>>. Acesso em 19 abr 2012.
- \_\_\_\_\_. **Esquema de usina de transformação anaeróbica.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/natureza/noticia/2011/06/sp-vai-licitar-primeira-termeletrica-movida-lixo-do-brasil.html>>. Acesso em 19 abr 2012.
- HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Urbanos:** Uma abordagem tecnológica. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004. 190 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://ppe.ufrj.br/ppe/production/thesis/rachelh.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2012.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/27032002pnsb.shtml>>. Acesso em: 07 jul. 2012.
- \_\_\_\_\_. **IBGE Cidades.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 17 mar. 2012.
- INSTITUTO CARBONO BRASIL. **Créditos de carbono.** Disponível em: <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Lixo Municipal:** Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo, 2000. 278 p.

KIEHL, E. J. *Apud* LIMA, L. M. Q. **Lixo:** Tratamento e Biorremediação. 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004. 265 p.

KRAEMER, M. E. P. **Passivo Ambiental.** 2007. 17 p. Disponível em: <[http://www.sense8.com.br/clientes/amda/imgs/up/Artigo\\_21.pdf](http://www.sense8.com.br/clientes/amda/imgs/up/Artigo_21.pdf)>. Acesso em: 24 fev. 2013.

KUMAR, S. Technology options for municipal solid waste-to-energy project. **TERI Information Monitor on Environmental Science.** V. 5, n. 1, p. 1 -11, junho, 2000. Disponível em: <[http://www5.zetatalk.com/docs/Gasifiers/Technology\\_For\\_Municipal\\_Solid\\_Waste-To-Energy\\_2000.pdf](http://www5.zetatalk.com/docs/Gasifiers/Technology_For_Municipal_Solid_Waste-To-Energy_2000.pdf)>. Acesso em: 18 nov. 2012.

LACERDA, L. **Logística Reversa:** Uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais. 2009. Disponível em: <[http://www.sargas.com.br/site/index.php?option=com\\_content&task=blogcategory&id=19&Itemid=29](http://www.sargas.com.br/site/index.php?option=com_content&task=blogcategory&id=19&Itemid=29)>. Acesso em: 08 out. 20012.

LAYARGUES, Philippe. O cinismo da reciclagem: o significado ideológico da reciclagem da lata de alumínio e suas implicações para a educação ambiental. **Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania.** São Paulo: Cortez, 2002, 179-220.

LEITE, P. R. **Logística Reversa:** Nova área da logística empresarial. Revista Tecnológica. Publicare: São Paulo, 2002. Disponível em: <<http://meusite.mackenzie.br/leitepr/LOG%CDSTICA%20REVERSA%20-%20NOVA%20%C1REA%20DA%20LOG%CDSTICA%20EMPRESARIAL.pdf>>. Acesso em: 08 out. 2012.

LIMA, L. M. Q. **Lixo:** Tratamento e Biorremediação. 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004. 265 p.

LIMPEBRÁS. **Fotos Aterros Sanitários de Uberlândia.** Disponível em: <[lais@limpebras.com.br](mailto:lais@limpebras.com.br)>. Acesso em: 31 jul. 2012.

\_\_\_\_\_. **Informações sobre o aterro sanitário de Uberlândia.** Arquivos Internos. Julho de 2012. Disponível em: <[mariana@limpebras.com.br](mailto:mariana@limpebras.com.br)>. Acesso: janeiro a março de 2013.

LIXO.COM.BR. **Lixão x Aterro.** Disponível em: <[http://www.lixo.com.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=144&Itemid=251](http://www.lixo.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=144&Itemid=251)>. Acesso em: 07 jul. 2012.

MÁQUINAS PARA RECICLAGEM. **Ciclo da reciclagem do vidro.** Disponível em: <<http://balbacch25.blogspot.com.br/2010/07/ciclo-de-reciclagem.html>>. Acesso em: 16 jul. 2012.

McCARTY, P. L. Anaerobic Wast Treatment Fundamentals. Part one: Chemistry and Microbiology. Vol. 95. **Stanford University: Public Works.** 1964. 107 – 112 p.

\_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. Part two: Environmental Requirements and Control. Vol. 95. **Stanford University: Public Works.** 1964. 123 -126 p.

MENEZES, R.A. A. et al. Estágio atual da incineração no Brasil. In: Seminário Nacional de Resíduos Sólidos Urbanos e Limpeza Pública. 2000. [Anais eletrônicos]. Curitiba: ABLP, 2000. Disponível em: <<http://www.luftech.com.br/arquivos/art07.htm>>. Acesso 07 jun. 2012

MINAS GERAIS. Lei nº 18031 , de 12 de janeiro de 2009. **Diário do Executivo**. Belo Horizonte, MG, 2009. Disponível em:  
<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=9272>>. Acesso em: 13 jul. 2012.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Protocolo de Quioto**. Brasil, 1997. 29 p. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0012/12425.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0012/12425.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Aproveitamento energético de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. Disponível em: <[sic@mma.gov.br](mailto:sic@mma.gov.br)>. Acesso em: 30 de julho de 2012.

\_\_\_\_\_. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Versão preliminar para Consulta Pública. Brasília, 2011. Disponível em:  
<[http://www.cnrh.gov.br/pnrs/documentos/consulta/versao\\_Preliminar\\_PNRS\\_WM.pdf](http://www.cnrh.gov.br/pnrs/documentos/consulta/versao_Preliminar_PNRS_WM.pdf)>. Acesso em: 26 jun. 2012.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Coordenação técnica Victor Zular Zveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil**. Setembro de 2004. 246 f. Tese de Doutorado em Ciências em Planejamento Energético. Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

\_\_\_\_\_. **Tratamento alternativo para resíduos sólidos urbanos**. Disponível em:  
<[luciano@ivig.coppe.ufrj.br](mailto:luciano@ivig.coppe.ufrj.br)>. Acesso em: 31 ago. 2012.

PINATTI, D. G. *Apud* HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Urbanos: Uma abordagem tecnológica**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2004. 190 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em:  
<<http://ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/rachelh.pdf>>. Acesso em 28 fev. 2012.

\_\_\_\_\_. **Plantas em operação no Brasil com tecnologia BEM**. Disponível em:  
<[pinatti@demar.eel.usp.br](mailto:pinatti@demar.eel.usp.br)>. Acesso em: 05 set. 2012.

PINTO, M. S. *Apud* LIMA, L. M. Q. **Lixo: Tratamento e Biorremediação**. 3 ed. São Paulo: Hemus, 2004. 265 p.

PINTO-COELHO, R. M. **Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil**. Belo Horizonte: Recóleo Coleta e Reciclagem de Óleos, 2009. 340 p. :il.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/residuos-solidos/residuos-solidos.php>> . Acesso em: 12 fev. 2012.

PREFEITURA MUNICIPAL DE UBERLÂNDIA. **Serviços Urbanos.** Disponível em: <<http://www.uberlandia.mg.gov.br/?pagina=secretariasOrgaos&s=66>>. Acesso em: fev. 2012.

\_\_\_\_\_. **Banco de Dados Integrados.** Ano 2011. Disponível em: <<http://www.uberlandia.mg.gov.br/?pagina=secretariasOrgaos&s=56&pg=514>>. Acesso em: 17 jan. 2013.

\_\_\_\_\_. Núcleo de Coleta. **Coleta Seletiva.** Arquivos Internos. 2012.

PROJETO NATUREZA LIMPA. **Informações sobre a tecnologia.** Arquivos internos. Unaí, 2012 – 2013. Disponível em: <[mario@naturezalimpa.com](mailto:mario@naturezalimpa.com)>; <[lambert.puc-goias@hotmail.com](mailto:lambert.puc-goias@hotmail.com)>. Acesso em: junho a dezembro de 2012; janeiro a março de 2013.

RIBEIRO, C. M. et al. **Avaliação do ciclo de vida (ACV):** Uma ferramenta importante da Ecologia Industrial. Revistas do CEMOROC, EDF – FEUSP. 2003. Disponível em: <<http://www.hottopos.com/reseq12/art4.htm>>. Acesso em: 08 out. 2012.

ROMÃO, E. L. et al. **PROBEM:** Programa Biomassa – Energia – Materiais Refinaria de Biomassa. Lorena, 2010. Disponível em: <[http://www.tratabrasil.org.br/novo\\_site/cms/files/3/erica\\_apresentacao.pdf](http://www.tratabrasil.org.br/novo_site/cms/files/3/erica_apresentacao.pdf)>. Acesso em: 02 dez. 2012.

SANTOS, M. **Espaço e Método.** 5 ed., 1 reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2012. 120 p.

SAÚDE, SEGURANÇA DO TRABALHO & MEIO AMBIENTE. **Compostagem.** Disponível em: <<http://maesso.wordpress.com/2011/09/22/compostagem-aproveitamento-do-lixo-organico-2>>. Acesso em: 15 jul. 2012.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **ICMS Ecológico.** Disponível em: <<http://www.semad.mg.gov.br/icms-ecologico>>. Acesso em: 17 dez. 2012.

SILVA, G. M. S. **Análise da tecnologia de hidrólise ácida parcial para tratamento e minimização da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos da região metropolitana de Curitiba.** Dezembro de 2008. 88 f. Dissertação de Mestrado Profissionalizante em Desenvolvimento de Tecnologia do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Instituto de Engenharia do Paraná. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Curitiba, 2008.

SOARES, A. G. **Adsorção de gases em carvão ativado de celulignina.** Janeiro de 2001. 153 f. Tese de Doutorado em Física. Instituto de Física “Gleb Wataghin”. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

STERLIXAMBIENTAL. **Nossos Clientes.** Disponível em: <<http://sterlix.com.br/2012/nossos-clientes/>>. Acesso em 11 set. 2012.

TENÓRIO, J. A. S.; ESPINOSA, D. C. R. Controle ambiental de resíduos. In: PHILIPPI Jr., Arlindo; ROMÉRO, Marcelo de A.; BRUNA, Gilda C. Curso de gestão ambiental. Barueri, SP: Manole, 2004, p. 155-211.

UNIÃO PROTETORA DO AMBIENTE NATURAL. **Dioxinas e furanos.** Disponível em <<http://dioxinas.upan.org.br/>>. Acesso em: 03 mar. 2013.

USINAVERDE. **Gestão de resíduos sólidos.** Disponível em <<http://www.usinaverde.com.br/lixoemeioambiente.php?cod=2152313A-ACA1-D5D1-D9CF-D81528495D55>>. Acesso em: 14 jun. 2012

VERDEVIDA. **Corte esquemático de um aterro sanitário.** Disponível em: <<http://verdevida.speedlink.com.br/aterro.htm>>. Acesso em: 07 jul. 2012.