

**AVALIAÇÃO DAS DEMANDAS E POTENCIAIS ASSOCIADOS AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS EM CIDADES EMERGENTES: O CASO DO MUNICÍPIO DE RIO DAS OSTRAS, RJ***ASSESSMENT OF DEMAND AND POTENTIAL ASSOCIATED WITH SOLID WASTE MANAGEMENT IN EMERGING CITIES: THE CASE OF THE CITY OF RIO DAS OSTRAS, RJ***Flavio Vallejo^a; Luciane Monteiro^a**^a **Universidade Federal Fluminense (UFF) - Niterói, RJ, Brasil - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química****Resumo**

O acelerado crescimento urbano e populacional observado em algumas cidades brasileiras nos últimos anos, associado ao preocupante quadro de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU) no país, tem como consequência problemas ambientais que tendem a ganhar escala futuramente. Nota-se que existe uma grande defasagem tecnológica e gerencial em relação a alguns modelos eficientes adotados em países desenvolvidos que utilizam o lixo como insumo na geração de energia e mantém elevados padrões de controle ambiental. Sendo assim, este trabalho aborda, holisticamente, a problemática da gestão dos resíduos urbanos, bem como as principais rotas que podem ser tomadas para avançar no setor de acordo com as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Para uma visão mais próxima da realidade, foi realizado estudo de caso no Município de Rio das Ostras, RJ, onde se diagnosticou um cenário que, apesar de estar acima da média nacional, encontra-se ainda muito aquém dos padrões desejáveis, caracterizado por dificuldades em suprir a demanda crescente, grandes desperdícios de materiais e ausência de tratamento adequado para a maioria dos resíduos. Com base nos dados coletados em campo e na literatura, foram realizadas projeções de cenários futuros considerando o crescimento da população. Estimou-se que, caso nada seja feito, a cidade precisará triplicar sua capacidade de disposição do lixo em menos de 10 anos. Por outro lado, a partir de algumas ações e investimentos, é possível começar a reverter este quadro aproveitando os potenciais econômicos e energéticos associados à gestão de RSU, gerando inúmeros benefícios ao município. Ações como a separação do lixo para reciclagem, instalação de centrais biodigestoras e enquadramento do aterro como MDL foram consideradas as mais vantajosas a serem implementadas em curto prazo, considerando os fatores de viabilidade técnica, econômica e ambiental envolvidos. Entretanto, não se descarta a utilização de tratamentos térmicos para alguns tipos de materiais e, futuramente, até mesmo para os RSU. Contudo, concluiu-se que, com uma nova abordagem das administrações municipais, principalmente nessas cidades em crescimento, é possível lidar de forma mais eficiente com os resíduos, obtendo ganhos econômicos e protegendo o meio ambiente.

Palavras-chave: gestão de resíduos, lixo, urbanização, meio ambiente, aproveitamento energético.**Abstract**

The rapid urban and population growth observed in some Brazilian cities in recent years, associated with the troubling framework of management of municipal solid waste (MSW) in the country has as a consequence environmental problems that tend to gain scale in the future. Note that there is a technology and management lag relative to some efficient models adopted in developed countries that use waste as a feedstock in power generation and maintains high standards of environmental control. Therefore this paper addresses, holistically, the problems of urban waste management, as well as the main routes that can be taken to advance the department in accordance with the guidelines of the National Solid Waste. For a closer view of reality, a case study was conducted in the city of Rio das Ostras, RJ, where was diagnosed a scenario that, despite being above the national average, is still far of desirable standards characterized by difficulties in meet the growing demand, large wastage of materials and lack of adequate treatment for most waste. Based on collected data in the field and in the literature, were made projections of future scenarios considering population growth. It was estimated that if nothing is done, the city will need to triple its garbage disposal capacity in less than 10 years. On the other hand, from some actions and investments, is possible to reverse this framework using the economic and energy potentials associated with



the management of MSW generating countless benefits to the city. Actions such as separating waste for recycling, installing biodecomposition centrals and framing the landfill as CDM were considered most advantageous to be implemented in the short term considering the factors of technical, economic and environmental involved. Yet, not rule out the use of heat treatment for some types of materials, and eventually even to the RSU. However, it was concluded that a new approach of municipal administrations, especially those growing cities, it is possible to manage the waste more efficiently resulting economic advantages and also protecting the environment.

Key-words: waste management, MSW, urban growth, environment, waste to energy.

1. INTRODUÇÃO

A evolução econômica e industrial vivida pelo Brasil nos últimos anos associada ao aumento do PIB e ao crescimento demográfico, entre outros fatores, impulsionaram um processo de urbanização acelerada em diversas regiões do país, principalmente, devido à instalação de grandes empreendimentos como os polos petrolíferos na região sudeste ou os projetos de mineração na região norte que geram grandes ofertas de empregos, demandam infraestrutura, comércio e indústrias de apoio e, conseqüentemente, são responsáveis por alavancar o desenvolvimento econômico local.

Números divulgados pelo último Censo Demográfico realizado pelo IBGE apontam que as cidades médias cresceram acima da média anual brasileira entre 2000 e 2010 e em alguns casos esse crescimento foi muito elevado como é o caso do município de Rio das Ostras, localizado na Região dos Lagos, no Estado do Rio de Janeiro, que viu sua população aumentar em 178,72% nesse período, passando de 36.419 para 105.757 habitantes e liderando o ranking das cidades que tiveram maior aumento populacional. Tal fato pode ser atribuído à proximidade com os municípios de Macaé e Campos, onde ocorre maior parte da produção de petróleo do país. Outros exemplos são as cidades de Parauapebas (PA), que está assentada sobre a maior província mineral do mundo, e Maricá (RJ) também devido ao setor petrolífero.

A emergência de novos polos econômicos e a consolidação de novas configurações urbanas pela interligação entre cidades ampliam as oportunidades de desenvolvimento econômico, mas trazem também o risco de criar novas e maiores disparidades sociais e territoriais (ONU-HABITAT, 2012). O crescimento acelerado de novos centros urbanos justifica uma particular atenção pela importância dos desafios que apresenta, pois poucos governos locais estão preparados para absorver mudanças desta magnitude. Sem o apoio técnico e político, as cidades estão expostas a repetir cenários de crescimento desordenado e de assentamentos precários, com as conhecidas conseqüências econômicas, sociais e ambientais.

O crescimento urbano descontrolado pode degradar os ecossistemas de maneira estrutural uma vez que, além de as construções avançarem sobre áreas de vegetação, os centros urbanos demandam grande utilização de recursos naturais para seu funcionamento e são capazes de gerar enormes quantidades de resíduos sólidos diariamente. Estes, quando não são coletados, tratados e dispostos da forma correta, podem contaminar o solo, os lençóis freáticos, os corpos hídricos e a atmosfera alterando significativamente a qualidade de vida das populações locais como pode ser evidenciado nos diversos lixões, muitos ainda em funcionamento em todas as regiões do Brasil. Até o ano de 2008, aproximadamente 70% das unidades de disposição final de resíduos sólidos ainda eram inadequadas, ou seja, com pouco ou nenhum controle ambiental (IBGE, 2008).

Esse quadro se torna preocupante se considerarmos que o problema do lixo nas cidades já é, atualmente, um passivo ambiental oriundo das práticas inadequadas cometidas no passado e, além de demandar ações de remediação imediata, também é preciso pensar no futuro, uma vez que a geração de resíduos cresce juntamente com a população e seus hábitos de consumo. Como aponta DIAZ *et al.* (2005), a evolução dos costumes, a melhoria do nível de vida e o desenvolvimento industrial, entre outros fatores, têm provocado crescente ampliação no poder aquisitivo per capita e, conseqüentemente, na quantidade total de resíduos sólidos produzidos particularmente nas cidades. Além disso, no caso da disposição final em aterros ou lixões, o processo de decomposição dos resíduos produz efluentes líquidos e gasosos durante anos, mesmo após a desativação das unidades (Maciel, 2003).

Contudo, ao analisarmos os modelos de Gestão de Resíduos Sólidos utilizados em países desenvolvidos e até mesmo alguns casos de avanços no Brasil, é possível notar que existem meios de lidar com essa questão de forma mais inteligente gerando valor socioeconômico e ambiental ao processo. Existem diversos métodos e tecnologias que permitem aproveitar a energia dos resíduos antes de despejá-los no solo, como a incineração, a biodigestão, a pirólise, entre outros que já são utilizados em larga escala na Europa e nos EUA. Porém, mesmo não sendo considerada



uma forma adequada de tratamento e disposição final em termos ambientais, os aterros sanitários em conformidade com as normas de controle da poluição, ao impedir que os gases de Efeito Estufa (GEE's) sejam emitidos para atmosfera, podem ser certificados como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) e passar a vender créditos no mercado de carbono (Duarte, 2006).

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo diagnosticar a atual situação da gestão de resíduos sólidos nas cidades em crescimento urbano acelerado visando avaliar seu grau de defasagem em relação aos modelos utilizados nos países desenvolvidos e, posteriormente, identificar alternativas que possam gerar benefícios financeiros e ambientais para a região, utilizando como estudo de caso o município de Rio das Ostras, RJ.

2. O PROBLEMA AMBIENTAL

Conforme citado anteriormente, a gestão de resíduos sólidos no Brasil é ineficiente e gera diversos impactos ambientais negativos, poluindo o solo, a água e o ar, afetando principalmente as populações que vivem nas áreas de entorno das unidades de disposição final. Nos lixões e aterros controlados, onde não há impermeabilização do local para a contenção do chorume produzido no processo de decomposição do lixo, o efluente líquido se infiltra no solo por lixiviação, contaminando-o e, conseqüentemente, os lençóis freáticos, podendo atingir corpos hídricos e mananciais.

O chorume é um líquido de elevada carga orgânica e forte coloração cuja composição química apresenta grande variabilidade, pois depende da natureza dos resíduos depositados, da forma de disposição, do manejo e da idade do aterro além de ser extremamente influenciada por fatores climáticos, dentre os quais se destacam a intensidade pluviométrica e a temperatura do local. Se não for tratado, torna-se extremamente poluente, sendo potencial contaminante e comprometendo a saúde das populações afetadas. As cargas contaminantes dos lixiviados se compõem de muitas substâncias diferentes, entre as quais: Substâncias orgânicas; Nitrogênio em forma amoniacal, nitratos, nitritos, amônia; Halogênios Inorgânicos, carbonatos, cloretos, sulfatos, íons sódio, potássio, cálcio e metais como ferro, zinco, manganês, níquel, cobre, etc. (Segato, 2000).

Quando a decomposição do lixo se dá por processo anaeróbico, além do chorume produz também um efluente gasoso chamado de Gás de Lixo (GDL) ou Biogás, que é composto basicamente por gases intensificadores do efeito estufa, o Metano (CH_4) e o Dióxido de Carbono (CO_2). Os percentuais de metano variam de 45 a 60%, os de dióxido de carbono de 35 a 50% e, em pequena quantidade, são encontrados outros elementos como N_2 , H_2 , H_2S e NH_3 (Maciel, 2003).

O metano é um GEE particularmente potente e é atualmente considerado como de alto potencial de aquecimento global (PAG), 25 vezes maior que a de CO_2 quando um horizonte temporal de 100 anos é considerado. O PAG é muito maior (ou seja, 72) quando consideramos um horizonte de tempo de 20 anos (UNEP, 2010). Somado a isso, o decaimento gradual do estoque de carbono em um aterro sanitário gera emissões gradualmente durante anos, mesmo que a disposição de resíduos já tenha cessado. Isto acontece porque as reações químicas e bioquímicas precisam de bastante tempo para o processo de decomposição.

Também é importante ressaltar a presença de outros gases em menor proporção no Gás de Lixo, mas que podem ser extremamente tóxicos. Segundo Alves (2008), uma composição típica do biogás pode ainda conter amônia variando de 0,1-1% e até 350 constituintes traços em pequenas concentrações que variam de 0,01 a 0,6, chegando a representar até 1% do total do biogás. A maioria destes constituintes é formada por compostos orgânicos, porém podem-se encontrar constituintes inorgânicos, como compostos metálicos voláteis: cádmio, mercúrio, zinco e chumbo.

Algumas populações podem ser identificadas como suscetíveis de serem afetadas por estes fatores ambientais, com redução da qualidade de vida e ampliação dos problemas de saúde. As primeiras populações a serem afetadas são aquelas que não dispõem de coleta domiciliar regular e lançam seus resíduos no entorno da área em que vivem. Em segundo lugar, são os moradores das vizinhanças das unidades de tratamento e destinação de tais resíduos, que convivem com inúmeros incômodos desde odores desagradáveis até doenças ou intoxicações mais graves. Os efeitos na saúde humana relacionados a contato ou proximidade com o lixo podem ser causados por agentes físicos, químicos e biológicos (Ferreira *et Dos Anjos*, 2001).

Entretanto, ainda existe o risco de deslizamentos de terra e de explosões, principalmente nos casos onde a gestão municipal toma ações no sentido de minimizar os impactos dos vazadouros a céu aberto. Para evitar a poluição visual, prefeituras transformam os lixões em aterros controlados ou simplesmente cobrem o lixo com camadas de solo sem executar os preparos necessários para garantir os requisitos de saúde, segurança e ambientais. Os riscos de deslizamentos são decorrentes da instabilidade dos taludes provocada pela ausência de compactação adequada das camadas de lixo e de sistema de drenagem das águas pluviais.

Quanto ao risco de explosões, ocorre devido à ausência de sistema de coleta de biogás, que é rico em metano o qual tem um alto poder calorífico e fica retido no interior da massa de lixo que se caracteriza como um ambiente confinado propício à sua ocorrência. O poder calorífico do biogás depende basicamente da porcentagem de metano



nele existente; o biogás, com concentração variando entre 50% e 80% de metano, tem um poder calorífico inferior de 4,95 a 7,9 kWh/m³ (Alves, 2008).

Aliado a tudo isso, o despreparo e a falta de infraestrutura necessária para lidar de forma eficiente com o problema dos resíduos torna-se ainda mais evidente nas cidades que apresentam acelerado crescimento urbano onde, geralmente, os serviços de saneamento básico demoram a atender a toda a população. A geração de resíduos sólidos cresce vertiginosamente e demanda projetos de expansão em todas as etapas de sua gestão, tanto em curto prazo como nas etapas de coleta e triagem, quanto em longo prazo no tratamento e na disposição final, uma vez que a vida útil dos aterros sanitários é limitada e não é apropriado ficar construindo novas unidades apesar do baixo custo que oferecem, pois utilizam áreas muito extensas de terra e tem grande rejeição das populações vizinhas.

Em contraponto com os países desenvolvidos, onde, atualmente, os aterros sanitários são considerados métodos inadequados para a disposição final dos resíduos sólidos e a legislação ambiental é mais rigorosa nesse sentido, o Brasil ainda segue caminhando lentamente e muitos passos atrás. Um marco na legislação brasileira referente à gestão de resíduos sólidos que começou a avançar em direção à evolução desse setor foi a Lei nº 12.305, de 2010, que Instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, criando instrumentos e diretrizes para alcançar os objetivos.

A partir da lei, foi publicado o Plano Nacional de Resíduos Sólidos em 2011 que, entre suas diretrizes, prevê a eliminação de lixões e aterros controlados até 2014 e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos em todo o país. Além disso, o plano prevê também ações que levem à redução da geração de resíduos e da quantidade de resíduos orgânicos e inorgânicos destinados aos aterros sanitários como: programas de coleta seletiva e reciclagem, tecnologias de tratamento de resíduos e recuperação de biogás, projetos de geração de energia, entre outras.

Ao analisar esta situação, surgem diversos questionamentos do tipo: Qual a defasagem real da gestão de resíduos da maioria dos municípios em relação à legislação ambiental? Que ações e investimentos são necessários para atingir a eficiência no setor? É ambientalmente viável pensar na utilização de aterros sanitários para o futuro? Por que os modelos de sucesso no exterior que utilizam outras tecnologias não são implantados no Brasil?

3. ABORDAGEM TECNOLÓGICA E ECONÔMICA

Em uma visão holística, conclui-se que é preciso evoluir em todas as etapas do sistema de Gestão de Resíduos Sólidos: coleta e transporte, triagem e reciclagem, tratamento e disposição final se quisermos alcançar os

objetivos planejados para os próximos anos e futuramente dar passos maiores rumo à sustentabilidade. Países como a Suécia e a Alemanha são exemplos de eficiência na gestão dos resíduos sólidos utilizando aproveitamento energético dos materiais através de usinas de incineração de alta tecnologia e destinando pouco ou nenhum lixo para aterros sanitários.

Na primeira ponta do processo, temos as operações de coleta e transporte dos resíduos, etapa de importância fundamental para a reciclagem dos materiais, pois ao separar os resíduos recicláveis já na coleta evita-se que estes sejam contaminados ao serem transportados juntamente com o lixo orgânico em caminhões compactadores, como é feito atualmente na maioria das cidades brasileiras. O resultado dessa falha logística é que grandes quantidades de material reciclável acabam indo para os aterros sanitários, fazendo com que o prejuízo seja duplo: pelo desperdício do material e pelo espaço utilizado no aterro, onde levará muitos anos para ser decomposto.

Atualmente, o serviço de coleta seletiva só está presente em 8% dos municípios brasileiros e somente 13% dos resíduos gerados nas cidades são reciclados. O alumínio e as garrafas PET são os que têm maiores taxas de reciclagem e o setor movimenta cerca de R\$ 12 bilhões por ano. Mesmo assim, estima-se que o país perde em torno de R\$ 8 bilhões anualmente por deixar de reciclar os resíduos que são encaminhados aos aterros ou lixões, de acordo com um estudo do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) encomendado pelo Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2012).

Quanto ao Tratamento dado aos resíduos, após a separação dos recicláveis, a fração orgânica dos resíduos pode ser encaminhada para usinas de compostagem e o restante geralmente vai para os aterros sanitários sem passar por nenhum tipo de tratamento. Porém, existem algumas rotas tecnológicas para tratar os resíduos que permitem gerar energia, reduzir o volume e o peso dos resíduos e neutralizar a periculosidade de alguns resíduos. A seguir serão apresentadas algumas destas rotas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos e suas características:

Digestão Anaeróbica – Biodigestores e Aterros Sanitários

A digestão anaeróbica é a decomposição dos resíduos em condições de ausência de oxigênio. Pode-se dizer que existem duas técnicas distintas para o processo, mas que atuam de forma semelhante: a utilização de gás de lixo (GDL) em aterros sanitários, e a digestão anaeróbica acelerada em Biodigestores. Este tratamento é adequado apenas para os resíduos orgânicos, no entanto não é o que ocorre nos aterros sanitários na prática.

Possui baixo custo de operação e, além do potencial de geração de energia, a tecnologia se enquadra no padrão de



Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), podendo se certificar para receber créditos de carbono pela quantidade de GDL que deixa de ser emitida para atmosfera. Este tipo de projeto apresenta elevado retorno em termos de geração de créditos de carbono devido à presença do metano na composição do biogás gerado. Atualmente, existem no Brasil 29 aterros sanitários em alguma fase de certificação de MDL (IPEA, 2011).

Incineração

O processo de incineração de resíduos emprega alta temperatura de fornos para queimar cargas de resíduos que entram em combustão completa. Isso garante o tratamento sanitário e a destruição de componentes orgânicos e minimiza a presença de resíduos combustíveis nas cinzas resultantes. Como benefícios da utilização da incineração, destacam-se a redução do volume e do peso dos resíduos em 90% e 70%, respectivamente, e a recuperação de energia durante a combustão dos materiais (Henriques, 2004).

É o processo de tratamento mais utilizado pelos países europeus devido à redução do volume a ser destinado aos aterros já que muitos desses países têm pequenos territórios e também à sua capacidade de geração de energia que é maior perante as outras tecnologias. Em Estocolmo, na Suécia, a usina de Högdalen gera energia térmica e elétrica para a população operando a 4 km de distância do centro da cidade com total controle das emissões atmosféricas. O lixo, atualmente, é a principal fonte de energia sueca, à frente do petróleo e do gás (Presseurop, 2012).

No Brasil, a utilização da técnica não costuma ter boa aceitação por parte da população, principalmente devido aos riscos do processo e suas emissões atmosféricas de substância tóxicas, entre elas as dioxinas e furanos. Além disso, demanda investimentos e custos de operação muito altos, tornando-se uma opção pouco atrativa aos governos e empreendedores. No entanto, o processo é utilizado em menor escala para tratamento de alguns resíduos de serviços de saúde ou resíduos industriais perigosos.

Pirólise e Gaseificação

Ainda muito incipientes no Brasil, apenas em fase de pesquisa e desenvolvimento para tipos específicos de materiais, estes processos representam avanços tecnológicos que podem ser utilizados no tratamento dos resíduos sólidos com a obtenção de subprodutos de valor energético. Em ambos os processos, ocorre a decomposição térmica da matéria sólida em condições de ausência de um agente oxidante.

No processo pirolítico, que ocorre a/em torno de 500°C, são gerados produtos que podem ser usados, tais como

óleo, gases e carvão, como fonte de combustíveis ou em outros usos relacionados à indústria (VIEIRA *et al.*, 2011). Já a gaseificação atinge temperaturas maiores (900 – 1300°C) e os sólidos são convertidos em gases combustíveis que, por sua vez, podem ser utilizados em motores de combustão interna e Ciclo Otto na geração de energia (Henriques, 2009).

Algumas das vantagens desta rota tecnológica, além do aproveitamento energético, são: a redução do volume de resíduos a ser disposto, a área reduzida para implantação dos reatores e a ausência de emissões atmosféricas altamente poluentes como na incineração, porém o alto custo de implantação e a alta demanda de água no processo, entre outros, são fatores que ainda tornam sua utilização pouco atrativa ou inviável.

Contudo, nota-se que é possível implementar ações em todas as etapas do circuito de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos que proporcionem melhorias ambientais e, conseqüentemente, gerem ganhos econômicos, seja através do aumento das taxas de reciclagem, da geração de energia alternativa ou da obtenção de créditos de carbono. Os municípios tendem a se beneficiar com projetos nesse escopo, atingindo uma boa imagem e visibilidade, atraindo a população e até mesmo turistas.

4. METODOLOGIA

Para a realização deste estudo, foram necessárias três etapas: pesquisa bibliográfica, coleta de dados em campo e análise das informações. Na primeira, foi feito levantamento de informações relevantes ao desenvolvimento do tema em trabalhos acadêmicos e outras publicações para avaliar a gestão de RSU dos pontos de vista socioambiental, tecnológico e econômico, bem como identificar os principais fatores a serem observados *in situ*.

Posteriormente, foram realizadas visitas técnicas na unidade de disposição final de resíduos e em outros pontos estratégicos da cidade de Rio das Ostras, bem como entrevistas com representantes da administração municipal e de empresas do ramo, a fim de coletar as informações necessárias para diagnosticar a situação atual da gestão municipal de RSU e projetar cenários futuros com base no crescimento urbano acelerado predominante na região, entre outros fatores.

Por fim, a partir do conjunto de informações disponíveis, com auxílio de planilhas de cálculos e utilizando alguns valores médios e equações encontradas na literatura, foram traçados os cenários da gestão de RSU até o ano de 2020, considerando aumento da população e da produção de lixo para avaliar os problemas e as possibilidades que tendem a ser encaradas pelo município nos próximos anos.



5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade de Rio das Ostras está localizada na Região dos Lagos, no Estado do Rio de Janeiro. Em um território de 229 km², sua população aferida no censo demográfico do IBGE de 2010 foi de 105.757 habitantes, porém a mesma pesquisa estima que, já em 2012, esse número seria de 116.134 habitantes. É possível atribuir o elevado crescimento urbano e econômico observado nos últimos anos à sua proximidade em relação ao polo petrolífero de Macaé e aos royalties recebidos pelo município em função disso.

A cadeia produtiva de petróleo, gás e energia é o principal vetor econômico na região, como evidenciam a implantação da ZEN – Zona Especial de Negócios – uma área com um milhão de metros quadrados e atualmente com 29 empresas em atividade cujo objetivo é ordenar as atividades empresariais, industriais de produção, bens e serviços. Além disso, o potencial turístico do município e o crescimento do comércio e da atividade do setor imobiliário também se destacam no desenvolvimento econômico da cidade.

Por outro lado, o forte crescimento econômico associado ao crescimento populacional desenfreado experimentado na última década gerou aumento na demanda dos serviços públicos básicos. De acordo com a Secretaria Municipal de Urbanismo e Obras, cerca de 80% da área territorial do município possui serviços de saneamento básico, porém o que se pode observar é que ainda existem muitas regiões sem redes de abastecimento de água e esgoto.

Quanto à gestão dos resíduos sólidos, atualmente, o serviço de coleta de lixo atende a todo o território diariamente nas regiões mais populosas e em dias alternados nas outras, utilizando caminhões compactadores. A quantidade de lixo gerada diariamente é de aproximadamente: 100 toneladas de lixo doméstico, 50 toneladas de entulho, quatro mil pneus e 20 toneladas de material proveniente dos serviços de varrição e limpeza da cidade.

No orçamento fiscal de 2012, foram destinados pela administração municipal R\$ 14.200.000,00 (quatorze milhões e duzentos mil reais) para as atividades de gestão de resíduos sólidos urbanos, excluídos os serviços de limpeza urbana, sendo R\$ 9.200.000,00 para as operações de coleta e transporte do lixo e R\$ 5.000.000,00 para o tratamento e a destinação final. Todo o lixo coletado é transportado para o aterro sanitário da cidade denominado como CTR (Central de Tratamento de Resíduos) de Rio das Ostras.

A unidade está em operação desde 2004, quando iniciou o processo de licenciamento ambiental da atividade que foi concluído em 2006. Inicialmente, o aterro teria apenas mais quatro anos de vida útil, encerrando sua operação em 2010. No entanto, antes disso iniciou-se um projeto de ampliação para atender, por pelo menos mais cinco anos, a crescente demanda. O local, que foi ampliado em 28 mil metros quadrados, atualmente, conta com uma

área de 90 mil metros quadrados, dispendo, além da área de operação, de estação de tratamento de chorume, valas sépticas para resíduos dos serviços de saúde e um galpão de armazenamento de pneus para reciclagem.

Nota-se que não há nenhum tipo de controle e monitoramento das quantidades de resíduos que adentram o aterro e suas caracterizações, além da pesagem dos veículos na entrada e na saída, a única informação disponível é em relação ao tipo de fonte geradora: lixo domiciliar, limpeza urbana, serviços de saúde e pneus. Também não existe na unidade uma estação de triagem para separação dos materiais recicláveis, os caminhões compactadores despejam o lixo diretamente nas frentes de trabalho.

Os efluentes líquidos e gasosos são coletados através de um sistema de drenos. Os líquidos são direcionados para uma estação eficiente de tratamento de chorume composta por lagoa de acumulação, geobags e wetland. O gás de lixo, que tem uma alta concentração de gases de efeito estufa, é liberado sem tratamento para atmosfera. Tal fato, além de negligenciar os impactos ambientais dessas emissões atmosféricas, pode ser interpretado como um desperdício econômico, pois, caso esses gases fossem utilizados para geração de energia ou apenas queimados em flare, o empreendimento poderia obter receitas de créditos de carbono.

Sendo assim, é possível fazer um breve diagnóstico da atual situação do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos do município, onde o poder público acaba por realizar uma gestão cujo foco é o atendimento de demandas reprimidas ao invés de estar se planejando para atender as demandas futuras que, nesse caso, serão de escala significativamente maior.

Partindo dos dados dos censos anteriores, foram realizadas projeções populacionais para a cidade utilizando o método geométrico, o qual se aproxima com mais precisão da curva de crescimento demográfico nos últimos anos. Na Tabela 1, a seguir, são apresentados alguns números referentes aos cenários populacionais e da geração de resíduos sólidos urbanos projetados para os anos subsequentes. Para o cálculo da quantidade de lixo, foi utilizada uma taxa de geração per capita de 0,9 kg/dia.

Os valores encontrados mostram que, caso a população do município continue a crescer com a mesma intensidade durante mais uma década, já em 2015 a demanda pelos serviços de gestão de RSU tendem a aumentar em aproximadamente 60%, e em 160% no ano de 2020. Se não houver avanços nos processos envolvidos e todo esse lixo continuar a ser descartado em aterros, a estimativa é que em menos de 10 anos sejam necessários mais duas unidades equivalentes à atual.



Tabela 1: Projeções populacionais e da geração de RSU para o município de Rio das Ostras

Ano	População (hab)	Geração de RSU (ton/dia)	RSU acumulado (2004)* (ton)
1996	27.842	25	-
2010	105.676	95	185.923
2015	170.246	153	419.026
2020	274.169	247	794.371

Fonte: Os autores

* Quantidade de resíduos acumulados somente a partir de 2004 (quando se iniciou a operação do aterro).

Seguindo as diretrizes do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, nas quais estão previstas diversas ações que levem à redução da quantidade de lixo a ser disposto em aterros sanitários envolvendo reciclagem, tratamento dos resíduos e seu aproveitamento energético, é importante avaliar algumas variáveis econômicas dessas ações. Com base na caracterização geral dos resíduos sólidos do país, estima-se que aproximadamente 30% do total de RSU são materiais recicláveis e o desperdício ao não reciclá-los seria da ordem de R\$ 10 milhões ao ano em média.

Quanto às possibilidades de tratamento dos resíduos, vale ressaltar os valores envolvidos nas rotas tecnológicas analisadas que foram estimados neste estudo. Para a maior fração da quantidade de lixo coletada, 50%, composta de matéria orgânica, as técnicas mais simples, porém eficazes, seriam a compostagem ou a biodigestão anaeróbica. No caso da compostagem, seriam necessários pátios de área considerável, tendo como subproduto um composto fertilizante orgânico. A biodigestão necessita de maiores investimentos, porém pode ser projetada em pequenos espaços e, além do biofertilizante, gera também o biogás que pode ser usado como combustível ou apenas queimado para obtenção de créditos de carbono.

As vantagens da utilização de equipamentos de biodigestão ou digestão acelerada em relação ao processo natural de decomposição que ocorre em aterros sanitários são inúmeras, entre elas: a velocidade do processo, a qualidade do biogás gerado, o controle ambiental e o retorno financeiro. Enquanto o lixo permanece décadas sendo decomposto lentamente nos aterros, produzindo um GDL com baixa concentração de metano e gerando chorume, em equipamentos de biodigestão, nos quais é possível controlar os fatores que interferem no processo, este pode durar apenas 90 dias, gerando um biogás mais limpo e rico em CH₄ e, ao invés de efluente líquido, um adubo de alto valor fertilizante.

De acordo com os cenários projetados e utilizando valores médios para as taxas de geração de biogás por tonelada de lixo e de potencial de geração de energia por m³ de gás,

estima-se que, seguindo o modelo atual, deixariam de se aproveitar algo em torno de 70 milhões de m³ de biogás até 2020, que poderiam gerar aproximadamente 150 GWh de energia elétrica ao longo desse período utilizando sistemas de cogeração com eficiência de 30%. Além disso, poderiam ser reduzidas mais de um milhão de toneladas de CO₂ equivalente em emissões.

As outras rotas de tratamento de resíduos, que utilizam processos térmicos para a decomposição ou transformação dos materiais, como a incineração e a pirólise, são opções a serem consideradas, avaliando um cenário futuro em que as leis ambientais sejam mais rigorosas e já não haja mais tanta disponibilidade para a construção de aterros sanitários. No entanto, os principais entraves à utilização dessas técnicas são seu alto custo de implantação e operação que as tornam alternativas economicamente viáveis apenas para o tratamento de resíduos industriais que não podem ser dispostos em aterro.

Contudo, a Incineração mostra-se como a tecnologia de maior eficiência no aproveitamento energético dos resíduos sólidos; não obstante é a mais utilizada atualmente pelos países desenvolvidos apesar de todos os riscos e possíveis impactos ambientais envolvidos. Para o município de Rio das Ostras, estimou-se que através da incineração seria possível gerar cerca de 30 GWh/ano, atualmente, e mais de 50 GWh/ano em 2020, caso todo o lixo fosse incinerado. Já a tecnologia de pirólise se encontra ainda em desenvolvimento, mas diversos autores apontam-na como uma das mais promissoras para os anos futuros.

Entretanto, são inúmeras as possibilidades de ações no sistema de gestão RSU que proporcionam melhorias no controle ambiental, podendo gerar energia e divisas econômicas para a região e benefícios para a população, porém projetos neste escopo devem ser pensados em longo prazo e exigem altos investimentos que, na maioria das vezes, não podem ser custeados pelos orçamentos municipais. Além disso, é fundamental que haja pressão popular para que a legislação ambiental seja efetivamente cumprida e isso está diretamente associado aos níveis de



informação e educação ambiental da população, os quais devem estar entre as prioridades de qualquer planejamento para o setor.

A seguir, a Fig. 1 mostra o fluxograma de um modelo adequado de gestão de RSU, incluindo as principais rotas tecnológicas analisadas anteriormente, bem como suas entradas e saídas:

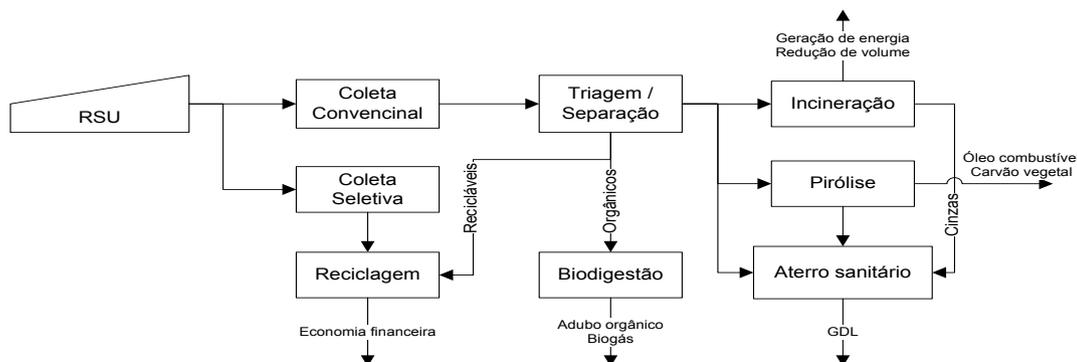


Figura 1: fluxograma de modelo de gestão adequada de RSU

Fonte: Os autores

6. CONCLUSÕES

De modo geral, observou-se que a situação das cidades brasileiras, em termos de gestão de RSU, está bem aquém dos padrões de qualidade e eficiência no controle ambiental determinados pela legislação ambiental brasileira e mais ainda se compararmos com os modelos adotados em países desenvolvidos. O país, atualmente, tem como meta prioritária a remediação dos passivos ambientais oriundos de décadas de gestão inadequada ou até mesmo inexistente em alguns casos.

Municípios pequenos e médios que vivenciam processo de crescimento urbano acelerado têm de se estruturar para enfrentar a crescente demanda de gerenciamento de resíduos; por outro lado, se feito um planejamento eficiente, pensando ações que considerem os fatores futuros, essas cidades apresentam enorme potencial para a realização de projetos neste escopo, uma vez que é muito mais fácil a sua implementação antes do problema ganhar escala.

Analisando as circunstâncias mais de perto, no estudo de caso, foi possível identificar inúmeros pontos do sistema em que poderiam ser evitados imensos desperdícios e introduzidas técnicas que permitem aproveitar o valor que os resíduos ainda contém. Apesar de descartar o lixo em aterro sanitário licenciado pelo Instituto Estadual do Ambiente (INEA), o município de Rio das Ostras ainda não dispõe de programas de reciclagem e coleta seletiva e nem mesmo de uma estação de triagem e separação dos materiais antes de ser disposto no solo.

Quanto à proposição de ações para gerar melhorias no sistema, considerando o panorama atual de gestão e suas limitações, concluiu-se que as principais intervenções a serem realizadas em termos de viabilidade técnica econômica e ambiental seriam: Programa de coleta diferenciada em

dois grupos (orgânicos e inorgânicos); Criação de um polo de reciclagem atraindo indústrias do setor através de parcerias e instrumentos econômicos; Construção de um galpão na CTR para a triagem e separação dos resíduos coletados; Implantação de Biodigestores próximos à CTR para o tratamento da fração orgânica; e Enquadramento do aterro sanitário e das centrais biodigestoras nos padrões de MDL para o recebimento de créditos de carbono.

Apesar do elevado potencial de aproveitamento energético, devido ao seu alto custo de implantação e operação, as tecnologias que utilizam de processos térmicos para tratar os resíduos, como a pirólise e a incineração, no momento, não se apresentam como alternativas viáveis para o tratamento do lixo urbano, no entanto é visível que, com a evolução dessas tecnologias somada às dificuldades cada vez maiores de se construir aterros sanitários, futuramente, estas podem se tornar boas opções.

Contudo, conclui-se que o setor de Gestão de RSU é uma área em que o país tem que avançar com certa urgência, se quiser figurar entre as nações exemplos de sustentabilidade e proteção ambiental pelo mundo. Entretanto, no estágio de desenvolvimento em que se encontram as cidades brasileiras, nota-se que, com medidas simples e pequenos investimentos, já é possível obter muitos avanços que, conseqüentemente, trazem inúmeros benefícios para as regiões onde são implantadas, necessitando apenas que seja dada mais atenção ao tema por parte dos *stakeholders* envolvidos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, I. R. de S. (2008), Análise experimental do potencial de geração de biogás em resíduos sólidos urbanos. 134f. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.



Brasil (2012), Gestão de Lixo e Reciclagem. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/sobre/meio-ambiente/gestao-do-lixo/reciclagem> acessado em janeiro/2013.

Diaz, I. F., Savage, G. M., Eggerth, L. L. (2005), Solid Waste Management, Volume 1. UNEP International Environmental Technology Centre.

Duarte, A. C. (2006), Projetos de MDL em Aterros Sanitários no Brasil: Alternativa para o Desenvolvimento Sustentável. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

Ferreira, J. A. e Dos Anjos L. (2001), "Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais". *Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro.

Henriques, R. M. (2004), Aproveitamento energético dos resíduos urbanos: uma abordagem tecnológica. 2004. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Henriques, R. M. (2009), Potencial para geração de energia elétrica no Brasil com resíduos de biomassa através da gaseificação. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

IBGE (2008), Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística Rio de Janeiro, Brasil.

IPEA (2011), Sustentabilidade Ambiental no Brasil: biodiversidade, economia e bem-estar humano Utilização do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo. Comunicados do IPEA, Brasília.

Maciel, F. J. (2003), Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos na Muribeca/PE. 173p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

ONU-Habitat (2012), Estado de las Ciudades de América Latina y el Caribe 2012. ONU-Habitat. Disponível em: <http://bit.ly/CiudadesALCaribe2012> acessado em janeiro/2013.

PRESSEUROP (2012), Suécia: Os felizes tratadores do lixo. Disponível em: <http://www.presseurop.eu/pt/content/article/670341-os-felizes-tratadores-do-lixo-da-europa> acessado em janeiro/2013.

Segato, L. M. (2000), "Caracterização do Chorume do Aterro Sanitário de Bauru". XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre.

UNEP (2010), Waste and Climate Change: Global Trends and Strategy Framework 2010. UNEP – United Nations Environment Programme.

Vieira, G. E. G., Pedroza, M. M., Sousa, J. F. de, Pedroza, C. M. (2011), "O processo de pirólise como alternativa para o aproveitamento do potencial energético de lodo de esgoto". *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, v. 12, n. 17, pp. 01-106.