



**Aspectos Logísticos relacionados à instalação de
uma planta de gaseificação a partir dos resíduos
sólidos urbanos da cidade do Rio de Janeiro**

Juliana de Melo Veras

Projeto Final de Curso

Orientadora

Prof. Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Rio de Janeiro

Março de 2016

**ASPECTOS LOGÍSTICOS RELACIONADOS À INSTALAÇÃO DE UMA
PLANTA DE GASEIFICAÇÃO A PARTIR DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO**

Juliana de Melo Veras

Projeto de Final de Curso submetido ao Corpo Docente da Escola de Química, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Engenheira de Bioprocessos.

Aprovado por:

Prof. Fábio Oroski, D.Sc.

Érica do Pilar, Engenheira Química

Clarice Ferraz, D.Sc.

Orientado por:

Flávia Chaves Alves, D.Sc.

Rio de Janeiro, RJ – Brasil

Março de 2016

Ficha Catalográfica

Veras, Juliana de Melo.

Aspectos logísticos relacionados à instalação de uma planta de gaseificação a partir dos resíduos sólidos urbanos da cidade do Rio de Janeiro/ Juliana de Melo Veras. Rio de Janeiro: UFRJ/EQ, 2016.

vi, 73 p.; il.

(Projeto Final) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2016.

Orientadora: Flávia Chaves Alves.

1. Resíduos sólidos urbanos. 2. Gaseificação. 3. Enerkem. 4. Projeto final. (Graduação – UFRJ/EQ). 5. Flávia Chaves Alves.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus, por me dar forças para continuar mesmo quando tudo parecia perdido.

À minha avó, Joana Maria, que onde quer que esteja, se faz presente em todos os momentos de minha vida através de seus ensinamentos e da saudade que não cessa.

À minha mãe, Márcia Cristina de Melo, por ser minha família inteira, por me motivar, por se preocupar, por não me deixar desanimar e por saber exatamente o que falar, se doando inteiramente para cumprir com excelência seu papel de mãe.

Ao meu namorado e amigo Andrei Newman Moreira, por ser companheiro, parceiro, cúmplice e por se permitir compartilhar comigo todo o seu presente e todo o seu futuro com muita leveza e amor.

À minha sogra Cynthia Newman, pela delicadeza das palavras, pelo carinho e pelas boas energias enviadas, tão importantes para me dar forças.

À Maria Helena, pela prontidão em me auxiliar e por me passar contatos importantes para a obtenção de dados deste trabalho;

Ao meu grupo de amigos que se auto-denomina Grulo, pela amizade que ultrapassa qualquer adversidade e por todos os momentos leves vividos, regados de harmonia e alegrias.

À minha orientadora, Flávia Alves, pela compreensão e pelo direcionamento, propondo sempre o melhor para o trabalho.

Resumo do Projeto Final de Curso apresentado à Escola de Química como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheira de Bioprocessos.

ASPECTOS LOGÍSTICOS RELACIONADOS À INSTALAÇÃO DE UMA PLANTA DE GASEIFICAÇÃO A PARTIR DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Juliana de Melo Veras

Março, 2016

Orientadora: Flávia Chaves Alves

Os resíduos sólidos urbanos constituem-se como uma grave questão ambiental e socio-econômica no Rio de Janeiro. Buscar e implementar tecnologias capazes de reaproveitá-los, utilizando seu alto poder calorífero, é uma das medidas a serem tomadas para se construir um gerenciamento adequado dos mesmos. O presente trabalho analisa a possível implementação de uma planta de gaseificação que utiliza os resíduos sólidos urbanos como matéria-prima na cidade do Rio de Janeiro. Ciente da não existência da tecnologia de gaseificação para reaproveitamento de resíduos no Rio de Janeiro, o estudo buscou encontrar no âmbito da logística, um cenário que viabilizasse tal implementação, utilizando como molde a planta comercial já existente no Canadá da empresa Enerkem. A partir dos dados referentes à logística aplicada na Enerkem, assim como os valores de matéria-prima utilizada, o trabalho foi realizado na tentativa de adaptar este cenário para o Rio de Janeiro. Desta forma, o projeto constitui na proposta de implementação da planta no CTR-Rio, formando com a estrutura já existente, uma central de tratamentos de resíduos detentora de uma gestão mais completa, utilizando, a princípio 7% dos resíduos gerados. Para tal, a infraestrutura já existente da CTR Rio deveria receber a instalação de uma central de triagem com 7 docas para viabilizar o recebimento das 333 carretas de resíduos que diariamente chegam ao local, além da implementação de todo o modelo de escala comercial de planta já instalado em Edmonton.

ÍNDICE

1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica	6
2.1. Gestão Logística	6
2.1.1. Gestão de Estoque	10
2.1.2. Localização.....	14
2.1.3. Gestão de Transporte.....	16
2.2. Resíduos Sólidos Urbanos.....	19
2.2.1. Processos de aproveitamento do resíduo sólido urbano	24
3. Descrição dos cenários-base do projeto.....	31
3.1. A empresa Enerkem.....	31
3.2. Infraestrutura de transporte do Rio de Janeiro	40
3.3. Resíduos Sólidos Urbanos na cidade do Rio de Janeiro	43
4. Estudo de caso da implantação de uma unidade de gaseificação de resíduos urbanos no Rio de Janeiro	50
4.1. Localização	52
4.2. Entraves logísticos	55
4.2.1. Questões relacionadas ao estoque	57
4.2.2. Questões relacionadas ao transporte	59
4.2.3. Discussão	62
5. Conclusão.....	68
6. Referências Bibliográficas	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Pirâmide Logística –.....	8
Figura 2 – Representatividade dos custos logísticos do Brasil em relação ao PIB – ..	9
Figura 3 - Dinâmica de Estoque para cenários com e sem incerteza	12
Figura 4 - Estoque maior e estoque menor	13
Figura 5 - Infraestrutura de transporte de carga pelo mundo	19
Figura 6 - Hierarquia da gestão dos resíduos	23
Figura 7 - Processo produtivo da Enerkem	33
Figura 8 - Edmonton Waste Management Centre	36
Figura 9 - Gestão integrada de resíduos em Edmonton.....	37
Figura 10 - Composição gravimétrica do lixo gerado em Alberta.....	39
Figura 11 - Principais estradas e rodovias do Estado do Rio de Janeiro	41
Figura 12 - Composição Gravimétrica Percentual do Lixo gerado na cidade do Rio de Janeiro em 2014.....	43
Figura 13 - Arranjos Regionais para disposição final dos resíduos sólidos urbanos.	45
Figura 14 - Fluxo de Resíduos através das Estações de Transferência no município do Rio de Janeiro	47
Figura 15 - Layout da área que corresponde à CTR-Rio	54
Figura 16 - Processo proposto	56
Figura 17 - Estoque de Segurança.....	59
Figura 18 - Tabela com a quantidade de carretas necessárias por dia.....	61
Figura 19 - Fluxo do transporte	62
Figura 20 - Capacidade de Armazenamento CTR-Rio.....	63
Figura 21 – Cenário CTR-Rio antes da implementação da planta	64
Figura 22 - Cálculo da nova vida útil da CTR Rio.....	65
Figura 23 - Aproveitamento	66

1. Introdução

Os dias atuais são regidos por um alto padrão de consumo da sociedade. A constante mudança de hábitos da população, associada à heterogeneidade da mesma, compõe um ambiente onde cada vez mais opções de produtos devem existir, a fim de que cada indivíduo tenha suas necessidades supridas. Em um mundo onde utilizar o tempo de uma maneira cada vez mais produtiva é o maior desafio do homem, agilidade, praticidade e comodidade são as características que regem a sociedade e criam tais necessidades.

Além da constante necessidade de consumo da população, o esperado crescimento populacional torna ainda maior e mais complexa a situação das empresas de bens de consumo. A fim de acompanhar este dinamismo e crescimento, empresas vêm buscando avanços e inovações de maneira cada vez mais rápida, a fim de atender as novas exigências do mercado consumidor.

Desta forma, consegue-se facilmente presumir que a realidade dos últimos tempos teve como consequência um grande aumento no número dos bens de consumo disponíveis para a população, sendo este aumento em relação a quantidade e também a variedade dos mesmos. Seguindo a ideia do dinamismo e das inovações constantes, também deve-se destacar o tempo de vida dos mesmos, que tende a diminuir para auxiliar a criação da sensação de necessidade do novo no cliente e assim, dar prosseguimento a este ciclo de consumo.

Após justificar e contextualizar o grande aumento na produção e na oferta de bens de consumo cada vez mais descartáveis, é de extrema importância analisar a principal consequência que isto traz: o aumento da quantidade de produtos que não são mais utilizados por terem se tornado obsoletos e, por isso, descartados. Segundo DA SILVA (2007), observa-se um aumento na produção de resíduos provenientes das atividades humanas comerciais, industriais, domiciliares e agrícolas. A grande quantidade de resíduos urbanos gerados está intimamente ligada à rotina da sociedade e à essa era de perecibilidade na qual a população se encontra.

O lixo sempre fez parte do dia-a-dia dos indivíduos, por ser uma consequência direta de suas atividades. Entretanto, muito tempo se passou até ele receber a devida atenção. Antes de qualquer tipo de regulamentação a respeito dos resíduos ser criada, não se tinha um direcionamento quanto ao local de descarte, muito menos quanto à possibilidade de reutilização. Demorou muito tempo para se perceber a real gravidade do acúmulo do lixo em locais inapropriados, sem qualquer regulamentação ou projeto de reutilização. Neste contexto, com o passar do tempo, o lixo se tornou não só uma grave questão ambiental, como também uma preocupante questão sócio-econômica.

Com as evidências de que os resíduos urbanos compõem um desafiador problema mundial, passou-se a estudar e analisar possibilidades para a utilização dos mesmos. O alto potencial energético que o lixo possui é hoje uma característica que desperta o interesse de empresas e governos que já se conscientizaram da importância em dar uma destinação correta às toneladas de resíduos geradas diariamente pela população, além de enxergar este processo como uma atividade lucrativa.

Além da ideia do lixo como uma matéria-prima barata e abundante, para encontrar soluções e viabilizar resultados para o constante aumento na produção de resíduos, é necessária a participação dos governos na criação de programas e legislações que estimulem ações e estudos nesse sentido. Uma importante e ainda em desenvolvimento aplicação dos resíduos sólidos urbanos é na produção de biocombustíveis e produtos químicos, que se apresenta como uma potencial e lucrativa rota com o aproveitamento do potencial energético dos resíduos.

Pensar em biocombustíveis é pensar em soluções para a crise energética na qual o mundo está inserida devido a dependência em relação ao petróleo, por este se tratar de uma matéria-prima fóssil não renovável. Viabilizar alternativas economicamente viáveis de combustíveis com alto poder calorífico e constituídos a partir de matérias-primas renováveis é um grande desafio que já vem sendo estudado e encorajado. Sabe-se também que a demanda energética vem aumentando de maneira intensa, e tende a continuar neste ritmo. Assim, pensando no potencial energético que os resíduos produzidos pela sociedade possuem, a obtenção de biocombustíveis através do lixo seria uma excelente alternativa de

resolução das duas problemáticas apresentadas. Pensando ainda na possibilidade de produção de produtos químicos, há neste cenário, a oportunidade de geração de produtos de maior valor agregado.

Neste contexto, poucos países já possuem plantas dedicadas à produção de biocombustíveis a partir do lixo. O Canadá é um bom exemplo de país que possui uma dessas plantas. Segundo RTI INTERNATIONAL (2012), a empresa Enerkem implementou em 2012 uma planta comercial que utiliza a gaseificação como método de obtenção de produtos químicos e a partir de resíduos. Seu projeto inicial visa a obtenção do biocombustível etanol como produto final, porém sua planta ainda não o obtém. Ainda no Canadá, pode-se citar como exemplo o *Plasco Energy Group*, que opera com uma planta de gaseificação de escala comercial desde 2006 em Otawwa (RTI INTERNATIONAL, 2012).

Pensando especificamente no Brasil, pode-se dizer que pouco se fala sobre esta maneira de reaproveitar os resíduos sólidos urbanos, pois quando se pensa em biocombustíveis, momentaneamente parece ser economicamente mais vantajoso continuar os estudos e a utilização de etanol a partir da cana-de-açúcar. Por se tratar de uma matéria-prima simples e produtiva, nos dias atuais a cana-de-açúcar se apresenta como uma forte solução frente à necessidade de fontes energéticas renováveis.

Acontece que, frente à urgência em se conseguir uma expressiva diminuição na dependência de matérias-primas fósseis, mais de uma alternativa real para produção de combustíveis deve virar prioridade nos estudos, pois um método não extingue a possibilidade do outro existir. Neste âmbito, como apresentado anteriormente, tem-se disponível uma quantidade imensurável de resíduos, cujo potencial como matéria-prima não está sendo devidamente aproveitado aqui no Brasil. Tecnologias para converter tais resíduos em biocombustível já existem e podem ser estudadas para a implementação de uma planta em metrópoles com sérios problemas relacionados ao lixo, como a cidade do Rio de Janeiro.

Além do estudo da tecnologia, um importante passo para uma possível implementação de uma unidade industrial que converta lixo em biocombustível seria o estudo da viabilidade logística deste processo, assim como do custo total

envolvido. Tal fato se deve à constatação de que não adianta ter a tecnologia sem saber se o local onde se deseja implementá-la possui recursos que viabilizem seu funcionamento. Pensando na cidade do Rio de Janeiro como uma grande metrópole, fica evidente a existência de um grande volume de resíduos urbanos, porém é pertinente realizar alguns questionamentos, tais como: qual o destino de tais resíduos nos dias de hoje? O Rio de Janeiro possui um sistema de coleta eficiente? Como se daria o transporte que partiria de milhares de diferentes pontos e iria até uma única planta? Aliás, qual a melhor localização que essa unidade industrial poderia ter? Quais são os desafios logísticos envolvidos?

Neste contexto, o objetivo principal deste trabalho é analisar a possibilidade de implementação de uma unidade industrial de gaseificação de resíduos urbanos para produção de biocombustível no Brasil, especificamente na cidade do Rio de Janeiro, sob a ótica dos aspectos logísticos. Para isso, tem-se os seguintes objetivos secundários:

- Identificar e discutir os entraves logísticos em relação ao transporte e estocagem do lixo;
- Apontar uma possível localização ideal da planta e a melhor maneira de gerenciar o estoque considerando os princípios de logística, discutindo as implicações de tais escolhas;
- Discutir qualitativamente os custos logísticos envolvidos.

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos, além desta introdução. O capítulo 2 apresenta a revisão da literatura considerando a gestão logística e seus entraves. Nele, são apresentadas definições e fatores para auxiliar no entendimento de questões relacionadas ao transporte, ao estoque e à localização de uma planta. O lixo no Brasil, assim como suas possíveis destinações também são abordados nesse capítulo, com o intuito de iniciar uma análise da matéria-prima da proposta deste trabalho. O terceiro capítulo do trabalho apresenta um estudo de caso detalhado da empresa canadense Enerkem e de sua planta de gaseificação já existente, a fim de entender e mostrar como a empresa lida com os fatores logísticos que impactam a viabilidade do processo utilizando resíduos sólidos urbanos, bem como o contexto em que o projeto foi desenvolvido. Juntamente com o estudo de caso da Enerkem, a infraestrutura carioca fecha o terceiro capítulo do trabalho. Sua

análise abrange a atual situação carioca em relação aos resíduos produzidos, assim como as características dos mesmos. A legislação que rege o descarte dos resíduos no Rio de Janeiro também será apresentada.

Embasado na revisão bibliográfica apresentada, o quarto capítulo apresenta análises sobre a viabilidade da implementação de uma unidade comercial de conversão de lixo em biocombustível em relação ao transporte, estoque e localização da planta. Além disso, uma análise qualitativa em relação aos custos envolvidos na rede logística proposta será apresentada. O capítulo 5 traz as considerações finais, limitações e sugestões de trabalhos futuros.

2. Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica irá se dividir em dois grandes tópicos: gestão logística e resíduos sólidos urbanos. O primeiro tópico a ser apresentado irá descrever importantes fatores que devem ser levados em consideração quando se pensa na logística de um processo, a fim de se ter disponível a matéria-prima necessária no local certo, na quantidade correta. Desta forma, sub-tópicos que tratam da gestão de estoque, gestão de transportes e localização serão apresentados.

Já no segundo tópico, a abordagem principal será focada nos resíduos sólidos urbanos, priorizando além da sua definição, a descrição de suas principais formas de destinação e tecnologias hoje existentes para o reaproveitamento dos mesmos.

2.1. Gestão Logística

Antes de realizar o estudo relacionado à gestão logística e aos fatores que influenciam a mesma, é importante mostrar uma definição ampla e completa do termo que será o foco deste tópico:

Logística é o processo de planejamento, implementação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes. (...) (*Council of Logistics Management* apud BALLOU, 2006, p.27)

Sabendo que logística engloba um conjunto de atividades funcionais como transporte, controle de estoque, dentre outros segmentos, pode-se dizer que tais atividades vão se repetindo em várias partes do processo, à medida que matéria-prima se transforma em produto final, aumentando o valor agregado em cada uma das etapas da cadeia (BALLOU, 2006).

A garantia de um bom funcionamento de qualquer processo depende, basicamente, da maneira como ele é gerenciado. Encontrar o equilíbrio entre todas as etapas, para que o processo como um todo consiga cumprir seus objetivos é

fundamental. Ao se pensar em uma cadeia produtiva, deve-se levar em consideração o planejamento necessário que se inicia com a construção de um fluxo de materiais, para que se possa visualizar e estudar a melhor localização para a construção da planta produtora. Para tal, deve-se levar em consideração a localização das matérias-primas, componentes e mão-de-obra com o menor custo, assim como a localização dos clientes finais, para que seja possível encontrar a melhor distribuição geográfica dos possíveis centros de distribuição e plantas. Tudo isto deve estar atrelado a um minucioso estudo de transporte, para garantir que o menor custo seja obtido, que a qualidade seja mantida e que o produto consiga ser distribuído adequadamente.

Sobre a logística, BALLOU (2006) diz:

A logística se baseia na criação de valor, tanto para os clientes e fornecedores da empresa, quanto para todos aqueles que têm nela interesses diretos. O valor da logística é manifestado primariamente em termos de tempo e lugar. Produtos e serviços não têm valor a menos que estejam em poder dos clientes quando (tempo) e onde (lugar) eles pretenderem consumi-los. (BALLOU, 2006, p.37)

A logística apresenta-se, assim, como a responsável por viabilizar e garantir que o produto certo, esteja na quantidade certa, no lugar certo, na hora certa.

Para conseguir atingir seus objetivos, a logística precisa ser aplicada de maneira planejada e estratégica. Neste âmbito, BALLOU (2006) descreve ainda que o planejamento pode ser dividido em três diferentes níveis: estratégico, tático e operacional. Segundo ILOS (2013), o planejamento estratégico é conhecido por ser de longo prazo, muito atrelado ao posicionamento da empresa em relação ao mercado, e o que a mesma almeja alcançar no período de um ano. O planejamento tático possui um horizonte temporal intermediário, normalmente inferior a um ano. Já o planejamento operacional está atrelado ao processo decisório de curto prazo, com decisões que são tomadas no dia-a-dia a fim de viabilizar que o planejamento estratégico se concretize (ILOS, 2013).

A pirâmide logística, apresentada na figura 1, representa como os diferentes tipos de planejamento devem ser estruturados:

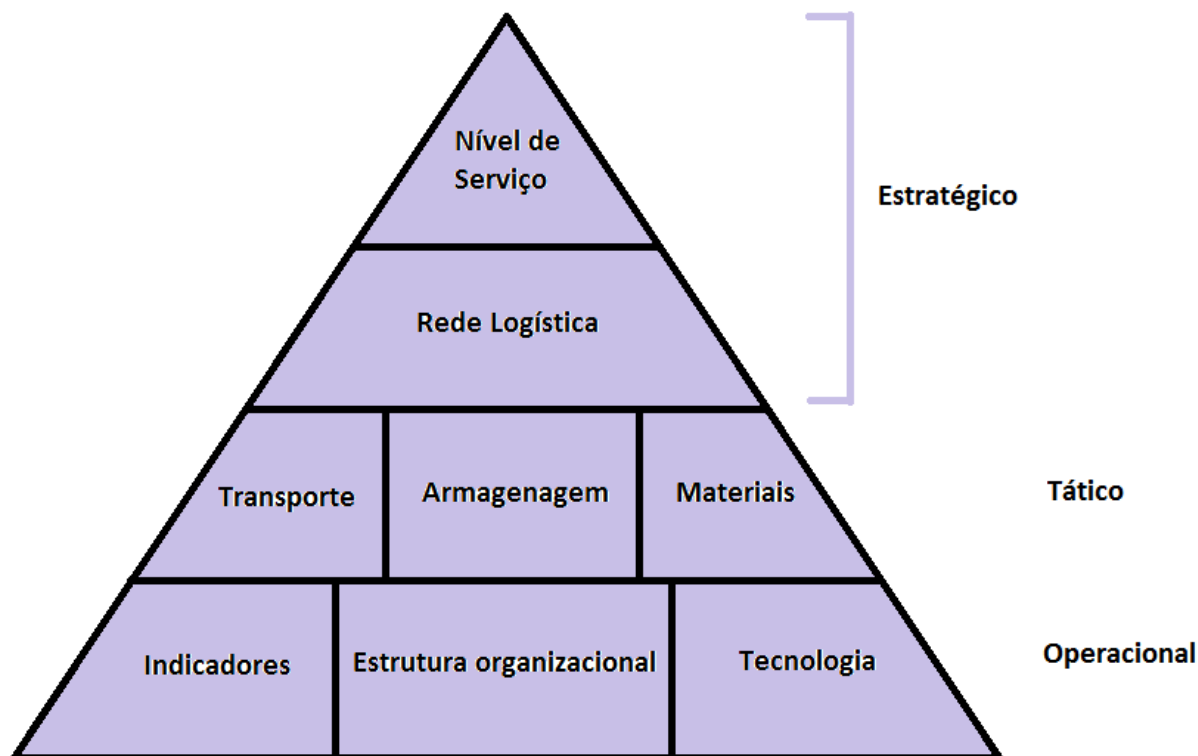


Figura 1 - Pirâmide Logística –

Fonte: Elaboração própria a partir de ILOS, 2013

No topo da pirâmide encontra-se o foco principal de toda a cadeia de suprimentos. Estabelecer qual o nível de serviço que se deseja atingir é o ponto de partida para a estruturação da rede logística e assim, a partir dele, elaborar os demais planejamentos. O maior *trade-off*¹ da logística é justamente encontrar o equilíbrio entre o nível de serviço prestado (que deve ser o maior possível) e os custos para tal (que são os menores possíveis). Garantir a fidelização de clientes frente a intangibilidade e heterogeneidade do serviço na logística é o desafio central que só consegue ser alcançado a partir dos planejamentos tático e operacional (ILOS, 2013).

Juntamente com o nível de serviço, a definição de uma rede logística é importante para a tomada de decisões referentes ao número de fábricas e centros de distribuição, a localização dos mesmos e a capacidade produtiva, sempre pensando em suprir as necessidades dos clientes, entregando um serviço na qualidade desejada ao menor custo.

¹ Expressão que define uma situação em que há conflito de escolha.

Já o planejamento operacional, segundo ILOS (2013), se faz importante na determinação de como se dará a estrutura organizacional da empresa, com os indicadores apropriados para o acompanhamento, análise e tomadas de decisões. Em relação ao planejamento tático, é válido detalhar um pouco mais a importância e complexidade dos fatores que compõem o mesmo, visto que a implementação correta destes impacta diretamente nos resultados da rede logística escolhida a partir do planejamento estratégico, que será o foco deste trabalho.

Segundo BALLOU (1993), a relevância da logística é influenciada diretamente pelos custos associados a suas atividades. Por qualquer medida, os custos logísticos são substanciais para a maioria das firmas e indústrias. O desafio da logística cresce a medida em que a necessidade em se reduzir custos cresce, para assim observar um aumento da margem de lucro da empresa em suas atividades. É importante notar que os custos logísticos, apesar de estarem atrelados a escolha de uma boa estratégia logística, também refletem a carga tributária do país (ou países) que incidem sobre as atividades de sua cadeia de suprimentos.

Analisando a estrutura dos custos logísticos brasileiros, LIMA (2014) mostra através da Figura 2 o retrocesso que o Brasil apresentou entre os anos de 2010 e 2012 em relação a seus custos logísticos, evidenciando algum desequilíbrio na cadeia que será melhor explicado no tópico gestão de transporte deste trabalho, já que transportes é a área que visivelmente mais impacta os custos logísticos.

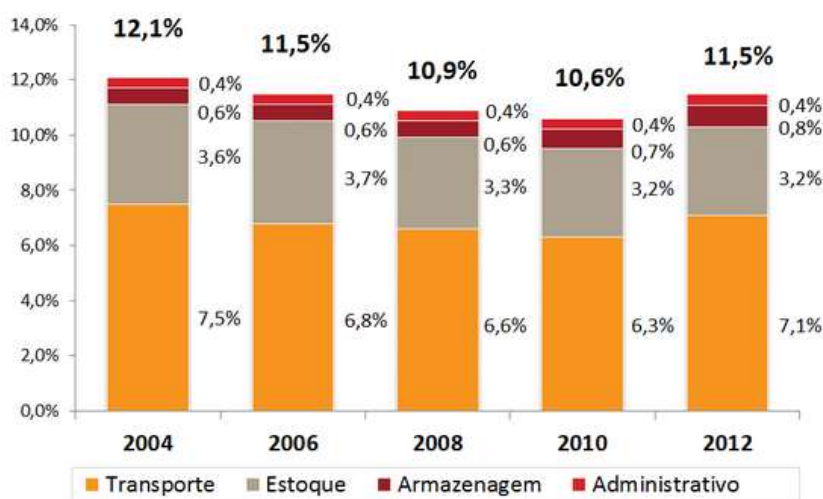


Figura 2 – Representatividade dos custos logísticos do Brasil em relação ao PIB –

Fonte: LIMA, 2014

Ainda analisando a figura 2, é importante destacar que o presente trabalho focará em duas dentre as quatro segmentações ilustradas na figura. Nela, transporte e estoque são responsáveis por cerca de 90% dos custos logísticos e são esses parâmetros que serão abordados devido sua alta representatividade. É interessante destacar também a diferença entre os custos estoque e armazenagem, pois tais conceitos são constantemente confundidos. Custos de armazenagem são os que se referem ao acondicionamento dos bens e a sua movimentação, como o aluguel do armazém, a mão-de-obra e a depreciação das empilhadeiras, por exemplo. Já os custos de estoque dizem respeito aos custos referentes aos bens produzidos e/ou comercializados que são estocados (LIMA, 2000).

Neste contexto, é válido desmembrar um pouco mais a logística, para pouco a pouco entender o que a torna tão importante e complexa em qualquer atividade que inclua fluxo de material e informação.

2.1.1. Gestão de Estoque

A área de gestão de estoque pode ser caracterizada como a área que gerencia questões que envolvem decisões de quando irá acontecer o ressuprimento do estoque, isto é, o momento de reposição, e quanto irá ser pedido nesse reabastecimento, ou seja, qual o nível de estoque que se deseja obter. Segundo WANKE (2008), a gestão de estoques em ambientes complexos, como as cadeias de suprimento compostas por diversos estágios, não é um processo trivial, podendo acarretar impactos significativos nos níveis de serviço ao cliente e nos custos totais.

Para um melhor entendimento, primeiramente deve-se responder a pergunta primordial do assunto: o que é um estoque?

Estoques são acumulações de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados que surgem em numerosos pontos do canal de produção e logística das empresas (BALLOU, 2006, p.271).

Pensando no estoque de um produto acabado, constrói-se a ideia de que estoque nada mais é que um capital parado, sendo de extrema importância ter um

rígido controle sobre o mesmo, pensando sempre em minimizá-lo. Entretanto, quando pensa-se em um estoque de matéria-prima, pensa-se em um estoque volumoso para garantir a disponibilidade da mesma e a produção contínua de seu produto final. Desta forma, é muito importante ter em mente que a gestão aplicada para cada tipo de estoque varia com a sua posição na cadeia produtiva.

Sabendo que, segundo BALLOU (2006), o estoque possui o objetivo de conciliar a disponibilidade de materiais e produtos com a demanda, pode-se dizer que ele promove o balanceamento entre os elos da cadeia, amortecendo as incertezas que um processo de suprimento possui, mesmo contando com um método de previsão eficaz. Tais incertezas são levadas em consideração quando existe um estoque de segurança, que é caracterizado como um excesso na quantidade dos produtos que irão garantir que qualquer flutuação não planejada na demanda seja suprida, e que não haja nenhuma falta de produto (o que define uma ruptura). Mesmo sabendo que existe um custo atrelado a esse estoque de segurança, sabe-se também que existe o custo da falta, que é percebido quando opta-se por não ter um estoque maior que o planejado e uma ruptura ocorra.

Comparar o custo do excesso de produtos no estoque com o custo da falta de um deles é muito difícil, pois enquanto o primeiro diz respeito somente ao capital parado e à locação do espaço físico do armazém, o segundo é muito mais imprevisível e intangível, pois leva em consideração a consequência desta falta (ILOS, 2013). Pensando na falta de um produto acabado, isso pode significar a insatisfação do cliente e a perda do mesmo para a concorrência. Tratando-se da falta de matéria-prima, todo o restante da cadeia de suprimentos é interrompida devido à impossibilidade de produção. De qualquer maneira, independente do produto que falte, essa falta representa uma queda no nível de serviço, prejudicando a empresa como um todo.

Tendo isso em vista, a maneira adotada pelas empresas a fim de garantir que não falte produto é a construção de um estoque de segurança, que normalmente é calculado levando em consideração o *leadtime*, ou seja, o tempo atribuído à duração do processo de reabastecimento. O estoque de segurança, além de garantir que se tenha produtos na proximidade do momento de reabastecimento, garante também

que a empresa conseguirá reagir a possíveis variações na demanda (WANKE, 2008).

A figura 3 compara dois cenários: o cenário ideal, no qual seria possível prever exatamente a demanda, sem qualquer flutuação da mesma e consequentemente, sem qualquer falta de produto ou matéria-prima; enquanto o segundo gráfico representa o cenário real, onde o estoque de segurança se faz necessário devido às inconstâncias e variações da demanda, a fim de prevenir a falta.

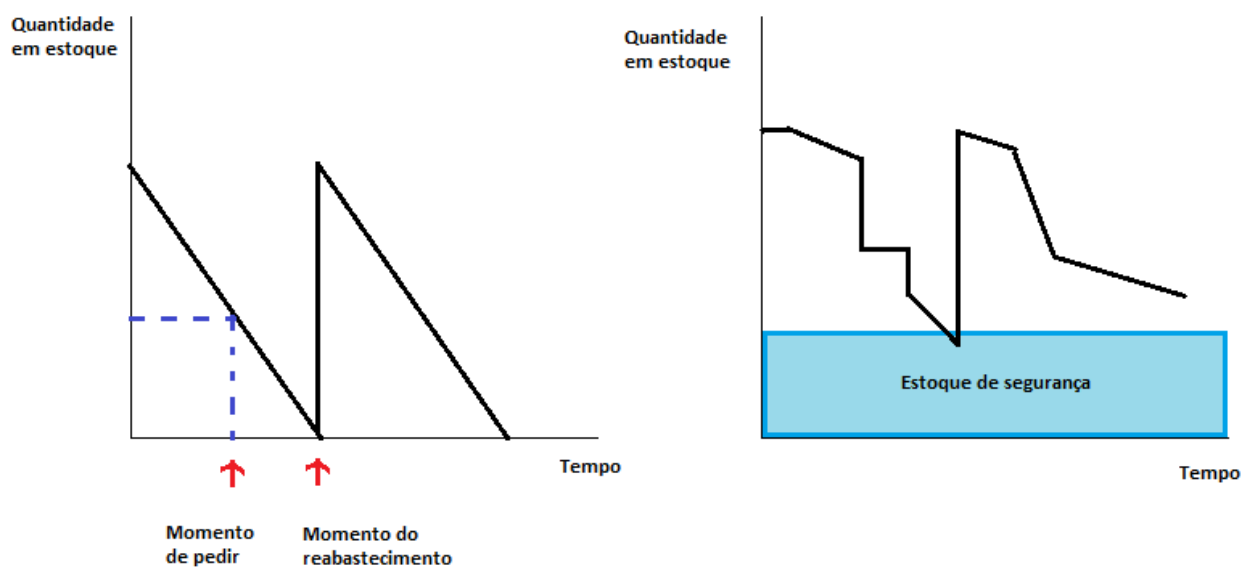


Figura 3 - Dinâmica de Estoque para cenários com e sem incerteza

Fonte: Elaboração própria a partir de WANKE (2008)

Outro ponto relevante a ser pensado é o tamanho do estoque, que está atrelado à quantidade a ser solicitada no momento do reabastecimento, refletindo também no número de vezes que tal ressurgimento se faz necessário. Tal decisão está atrelada ao tipo de produto a ser armazenado, a perecibilidade do mesmo, além da disponibilidade de espaço, custo de transporte, e visibilidade da demanda futura, que diz respeito à previsibilidade da demanda se seu comportamento seguir um padrão já conhecido.

Seguindo ainda as ideias de WANKE (2008), pode-se pensar em dois tamanhos de estoque: pequeno e grande. Nos dois possíveis tamanhos genéricos,

pode-se apontar vantagens e desvantagens, variando efetivamente de negócio para negócio. Caso o estoque seja grande, o custo de armazenagem será maior, porém o custo atrelado ao transporte será menor, pois além da diminuição da necessidade de ressuprimento, o custo fixo do transporte é diluído, barateando o processo. Já com uma política de estoque menor o contrário acontece. Os custos de armazenagem são menores, porém o fracionamento da carga torna o transporte mais caro. A figura 4 exemplifica os dois casos apresentados:

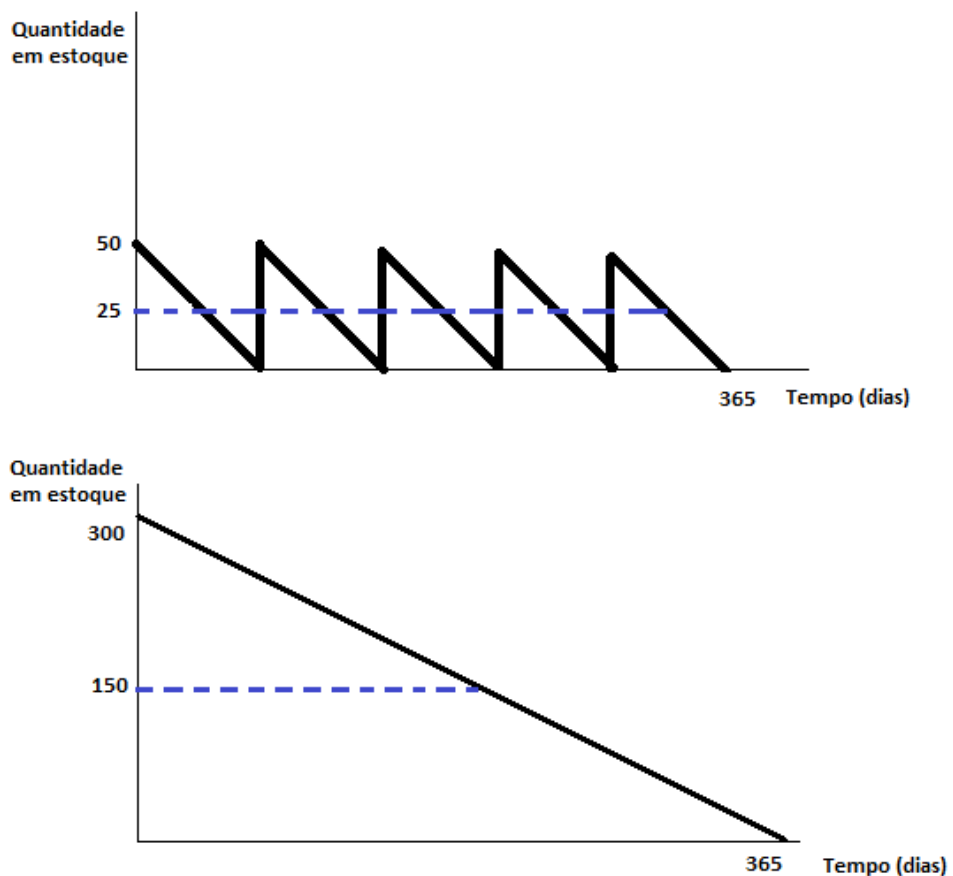


Figura 4 - Estoque maior e estoque menor

Fonte: Elaboração própria a partir de WANKE (2008)

A gestão de estoques está intimamente ligada com estratégias financeiras e econômicas, com o transporte e com as propriedades do produto trabalhado. Existem diversos modelos de gestão de estoque que levam em consideração a

interação da mesma com o ambiente que a cerca, a fim de mostrar os melhores modelos de acordo com cada ambiente.

Pensando nas diferentes peculiaridades que cada tipo de estoque situado em diferentes elos da cadeia, é válido destacar aquele que mais será levado em consideração no presente trabalho. Estoque de matéria-prima de um processo é o primeiro estoque encontrado na longa cadeia produtiva e deve ser gerenciado levando em consideração a dependência que todos os outros elos possuem nele.

2.1.2. Localização

Localizar instalações fixas ao longo da rede da cadeia de suprimentos é um importante problema de decisão que dá forma, estrutura e contorno ao conjunto completo dessa cadeia. Essa formulação define as alternativas, juntamente com os custos e níveis de investimentos a elas associados, usadas para operar o sistema (BALLOU, 2006, p.433).

O processo de decisão referente à localização está intimamente relacionado as estratégias de estoque e transporte traçadas para o funcionamento da rede logística. Tal decisão envolve também a determinação do número de instalações que tal elo da cadeia irá possuir. De maneira geral, segundo BALLOU (2006), não se pode estudar a localização de alguma estrutura física de uma empresa, sem levar em consideração a funcionalidade da mesma e a localização das outras estruturas que irão se relacionar de alguma forma com ela. Portos, armazéns, pontos de varejo e fábricas são alguns exemplos dessas estruturas. Ao se realizar uma análise, deve-se basear a mesma no custo que tal localização irá acarretar, seja ele relacionado a impostos ou ao transporte que será necessário.

Segundo BALLOU (2006), a localização de instalações é quase sempre determinada por um fator fundamental. No caso da localização da fábrica e armazém, por exemplo, em geral predominam os fatores econômicos. Já na localização do varejo, tanto as receitas a serem geradas quanto a facilidade de acesso podem ser considerados como os fatores fundamentais. Em contrapartida, o autor afirma que em todas as teorias mais antigas sobre a localização, os

economistas enfatizam a importância dos custos de transporte na determinação da localização.

Alfred Weber (apud BALLOU, 2006) reconhece o papel das matérias-primas no processo da produção e sua influência na localização. Sua teoria baseia-se no fato de que, durante o processo que transforma a matéria-prima em produto acabado, pode ocorrer uma variação de peso. Tal variação pode ser positiva ou negativa, ou seja, o produto acabado pode se tornar mais pesado ou mais leve do que a matéria-prima, e isso tem uma grande relação com custo do transporte.

Como ainda será mostrado, uma das maneiras de custear o transporte é estipular um preço pelo quilo transportado. Desta forma, quanto mais pesada for a carga, mais caro é o serviço de transferência da mesma. Assim, seguindo as ideias de Weber, se um produto perde peso ao ser processado devido à formação de subprodutos inutilizados, deve-se priorizar o produto acabado para transportes de longas distâncias, então a localização de uma fábrica, por exemplo, deve ser escolhida nas proximidades das fontes de matéria-prima.

No cenário inverso, ou seja, caso o produto acabado seja mais pesado que a matéria-prima, deve-se pensar em realizar o processamento (ou seja, montar a fábrica) nas proximidades dos consumidores finais, para que o transporte de longa distância seja realizado com as matérias-primas. Obviamente, tal raciocínio só se aplica quando o transporte é custeado a partir de volume transportado, configurando a dependência entre os fatores logísticos apresentados.

A complexidade em se planejar a localização de uma das construções físicas que compõe a cadeia de suprimentos pode ser aumentada dependendo do tipo de instalação em questão. Caso se trate de instalações de risco (depósitos de lixo, fábricas de produtos químicos, por exemplo), deve-se incluir na análise o critério que procura maximizar a distância mínima entre elas e a população por questões de segurança. Encontrar um equilíbrio entre todos os fatores citados torna a determinação da localização um grande desafio.

Desta forma, utilizando as informações descritas por BALLOU (2006) e WANKE (2008), pensando nas dimensões importantes para o planejamento da localização de uma planta, por exemplo, pode-se citar como sendo os principais

parâmetros a serem estudados e combinados: características da matéria-prima, localização da matéria-prima, estratégia do transporte, características dos rejeitos produzidos pela planta, questões legais, custos envolvidos e formas de distribuição do produto. Encontrar uma solução ótima que leve em consideração todos os fatores apresentados faz da escolha da localização de uma instalação física uma das decisões mais importantes a serem tomadas em um processo logístico.

2.1.3. Gestão de Transporte

O transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos para inúmeras empresas (BALLOU, 2006). Não só em termos de custo, mas de funcionalidade, o transporte se apresenta como uma área que conecta todas as outras, sendo de extrema importância para o sucesso de uma cadeia de suprimentos. Segundo FLEURY (2002), o transporte representa, em média, 60% dos custos logísticos, 3,5% do faturamento, e em alguns casos, mais que o dobro do lucro. Soma-se a isso o fato do transporte ter um papel fundamental na qualidade dos serviços logísticos, impactando diretamente no tempo de entrega, na confiabilidade, na segurança dos produtos e, conseqüentemente, no nível de serviço prestado. Tais fatos ratificam a importância em se planejar e estudar o transporte.

O serviço de transporte possui cinco modais básicos: hidroviário, ferroviário, rodoviário, aeroviário e dutoviário (FLEURY, 2002). Tais modais podem ser usados em combinação, podendo assim tornar a variedade do serviço extremamente grande. Os modais apresentados diferem entre si na característica do serviço prestado, no preço, no tempo de realização do serviço e nas limitações referentes à carga transportada. Analisar e entender como tais fatores impactam no negócio é essencial para a escolha do modal (ou combinação deles).

Comparando as principais características dos modais citados, percebe-se que alguns deles possuem grandes restrições em relação a diferentes volumes e variedades de produtos a serem transportados. Segundo FLEURY (2002), os modais dutoviário e aeroviário possuem sérios limites nesse quesito. O duto é muito limitado em termos de produto, por só trabalhar com líquidos e gases, enquanto o

aéreo possui limitações em termos de volume e tipos de produtos, por questões de segurança.

Quando se analisa o quesito velocidade, não é difícil perceber que o modal aéreo se encontra no topo da lista. Porém, se a análise realizada considerar o porta a porta, tal modal só terá uma grande vantagem tratando-se de médias e longas distâncias, visto que os tempos de coleta e entrega precisam ser levados em consideração (FLEURY, 2002).

Além dos fatores apresentados, pode-se citar a frequência, a consistência e a disponibilidade como outros importantes para a escolha de um modal, segundo FLEURY (2002). Frequência diz respeito à quantidade de vezes que tal modal pode ser utilizado em um dado intervalo de tempo e, neste quesito, tendo em vista que o duto opera 24 horas por dia, sete dias da semana, ele se apresenta no topo da lista. No quesito consistência, o modal dutoviário também se apresenta no topo, visto que sua funcionabilidade não varia em relação às condições climáticas como o modal aéreo, por exemplo. Entretanto, um dos mais importantes fatores estudados é a disponibilidade, que coloca o modal rodoviário como o mais disponível, por estar presente e conectar inúmeras localidades.

Como já mostrado na figura 1, a área de transporte possui uma grande representatividade nos custos logísticos, o que torna importante o entendimento do funcionamento dos mesmos. Em transportes, os custos podem ser divididos em custos que variam de acordo com serviços ou volume (custos variáveis) e os invariáveis (custos fixos).

Na verdade, não se trata de uma alocação precisa entre custos fixos e variáveis, já que as diferenças entre os custos dos modais de transporte podem ser significativas, porém, pode-se pensar em custos fixos como custos de aquisição de manutenção do direito de tráfego, instalações de terminais, equipamentos de transportes e administrativos (FLEURY, 2002). Seguindo o raciocínio, pode-se atribuir a designação de custos variáveis a tudo que diz respeito a gastos com combustível e salários, equipamentos de manutenção, de manuseio, de coleta e de entrega.

Analisando a infraestrutura brasileira para transporte de carga, observa-se que, segundo LIMA (2014), o Brasil se encontra atrasado quando comparado com outros países nesse quesito, impactando diretamente nos custos do setor. Tal atraso diz respeito a desbalanceada matriz de transportes brasileira, que possui a mesma infraestrutura que apresentava nos anos 80, evidenciando uma falta de investimento para o desenvolvimento da mesma (LIMA, 2014).

A figura 5 apresenta a carência brasileira em relação a outros países no que diz respeito a infraestrutura de transporte. A fim de facilitar a visualização, na comparação entre os países apresentados, cada modal possui sinalizado o país onde se apresenta em maior área (bolinhas verdes) e em menor área (bolinhas vermelhas). Percebe-se que o Brasil é o que possui as menores áreas em três dentre os quatro modais apresentados, enquanto os Estados Unidos possui as maiores áreas na maioria dos modais, demonstrando uma superioridade quando se fala em infraestrutura.

Além da comparação entre os países, é interessante analisar o nível de proporcionalidade que cada país possui em relação a seus modais. Segundo LIMA (2014), o que torna os custos relacionados a transportes altos no Brasil é justamente tal desproporcionalidade, exemplificada com o fato de que enquanto o Brasil realiza 2/3 de seu transporte de carga através de rodovias, esse número nos Estados Unidos não chega a 1/3.

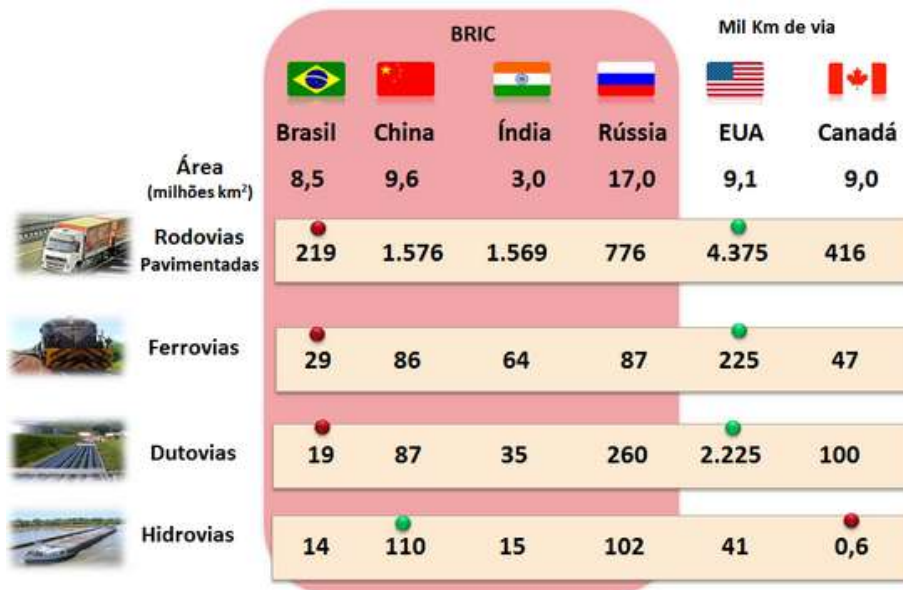


Figura 5 - Infraestrutura de transporte de carga pelo mundo

Fonte: BANCO MUNDIAL, 2014

Desta forma, ao se pensar em uma gestão de transportes bem realizada, pensa-se em um estudo prévio que relacione o tipo de carga a ser transportado para a escolha do melhor modal, além de levar em consideração as peculiaridades que a operação possui, a fim de atendê-las com o menor custo possível.

Após entender os pontos básicos que justificam a complexidade da gestão de transportes, tem-se um panorama completo dos principais fatores que formam a cadeia de suprimento e que serão abordados neste trabalho. A partir de agora, dando prosseguimento ao capítulo de revisão bibliográfica, o foco do trabalho passará a ser os resíduos, além da apresentação das tecnologias já existentes para o reaproveitamento dos mesmos.

2.2. Resíduos Sólidos Urbanos

A Lei 12.305 em seu artigo 13 item I, subitem i, define Resíduos Sólidos Urbanos como: os originários de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares) e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (resíduos de limpeza urbana). (MMA, 2010).

A partir da definição apresentada, não é difícil imaginar a quantidade de itens que fazem parte do dia-a-dia de uma sociedade urbana moderna, que têm potencial para virar um resíduo urbano, seja porque seu tempo de vida útil chegou ao fim, ou porque o produto tornou-se obsoleto, ou pelo simples fato de se pensar em elementos que não são o objetivo direto do consumidor, pois eles possuem apenas a função de transportar, armazenar e conservar algum outro produto (como é o caso das embalagens). Somados a este grupo estão os alimentos, que são descartados ou pelo fato de estarem vencidos/estragados, ou por se tratar de partes dos alimentos que não possuem uma utilidade rotineira e difundida na alimentação, ou ainda por se tratar de sobras não aproveitáveis.

Em relação à classificação dos resíduos, é importante destacar as diferenças entre os mesmos, a fim de facilitar o entendimento das técnicas de reaproveitamento que serão posteriormente apresentadas. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2013), os resíduos podem ser divididos entre resíduos recicláveis secos, rejeitos e resíduos orgânicos. Os resíduos recicláveis secos são os passíveis de participarem de processos de reciclagem e são compostos por metais (como aço e alumínio), papel, papelão, tetrapak, diferentes tipos de plásticos e vidro. Já os rejeitos, que são os resíduos secos não recicláveis, são compostos principalmente por resíduos de banheiro (fraldas, absorventes, cotonetes) e outros resíduos de limpeza. Os resíduos orgânicos, para concluir a classificação, consistem em restos de alimentos e resíduos de jardim (folhas secas, podas) (MMA, 2013).

Uma das maiores preocupações em relação à problemática do lixo apresentada diz respeito à destinação de todo resíduo sólido urbano gerado pela população. Como a geração de lixo se iniciou muito antes da população tomar ciência da necessidade em desenvolver um gerenciamento adequado desses resíduos, os destinos escolhidos para a disposição dos mesmos apresentam uma evolução, que pode ser associada ao desenvolvimento da conscientização em relação à relevância ao assunto. Os mais representativos destinos serão apresentados a seguir.

O vazadouro a céu aberto, também conhecido como lixão, pode ser caracterizado como a forma de disposição dos resíduos menos apropriado, visto que nele não há nenhuma preparação prévia do solo para receber tais resíduos, que, por

sua vez, não possuem nenhum tipo de controle e são depositados indiscriminadamente (LIRA, 2009). A NBR 8419/92 (ABNT, 1992), fala que a degradação de substâncias presentes nos resíduos sólidos gera um líquido, denominado chorume, que é caracterizado pelo mau cheiro, pela cor escura e altas concentrações de DBO (demanda bioquímica de oxigênio). Sabendo disso, segundo LIRA (2009), sem qualquer proteção ao solo, tal líquido penetra através do mesmo sem nenhuma dificuldade. Desta forma, ocorre uma contaminação do lençol freático, prejudicando o ambiente e ratificando a atribuição de “problema ambiental” ao lixo. Soma-se a isso o fato do lixo permanecer exposto sem qualquer proteção, estimulando a existência animais e de pessoas que se exponham ao risco de doenças ao tentar catar restos de comida e materiais recicláveis, evidenciando a grave questão social na qual estão inseridas (GOUVEIA, 2012).

Pode-se dizer que o aterro controlado é uma evolução dos vazadouros a céu aberto, mas ainda é caracterizado como uma fase intermediária entre o lixão e o aterro sanitário.

Esse método utiliza alguns princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos, cobrindo-os com uma camada de material inerte na conclusão de cada jornada de trabalho. Desta maneira, há a produção de poluição, porém de forma controlada. Geralmente os aterros controlados não dispõem de impermeabilização de base, comprometendo a qualidade das águas subterrâneas, e de sistemas de tratamento do percolado e de biogás gerado (...) (FUNASA, 2007, p. 266).

A evolução dos aterros controlados são os conhecidos aterros sanitários, que são efetivamente a disposição adequada para os resíduos sólidos dentre as opções até aqui apresentadas. Em um aterro sanitário o terreno é previamente preparado com o nivelamento de terra e com o selamento da base utilizando argila e mantas de PVC, impermealizando assim o solo com um material resistente. O chorume proveniente da decomposição dos resíduos é coletado e encaminhado para uma estação de tratamento de efluentes, tornando o processo ambientalmente favorável.

A fim de minimizar a poluição e ainda aproveitar os processos microbiológicos naturais que ocorrem com o lixo, os aterros sanitários costumam ter um sistema constituído de poços a fim de capturar o biogás produzido. Segundo SALOMON (2005), o biogás se apresenta como uma excelente alternativa para aproveitamento

do potencial energético e é definido como o gás liberado na decomposição anaeróbia dos resíduos orgânicos, composto basicamente por metano e dióxido de carbono. As vantagens do aproveitamento do biogás são encontradas na simplicidade do processo e no considerável poder calorífico do mesmo.

O crescimento da preocupação, não só com a destinação adequada, como também com o gerenciamento dos resíduos gerados está muito relacionado, no Brasil, com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), criada em 2010. A lei segue o princípio de responsabilidade compartilhada entre os diferentes elos da cadeia, evidenciando a obrigação de se existir uma logística reversa e a necessidade dos municípios em banir lixões e implantar sistemas para a coleta de materiais recicláveis (GRIMBERG, 2014). Adicionalmente, a PNRS adota medidas restritivas como a proibição do lançamento de resíduos em praias, rios e lagos, e das queimadas de lixo a céu aberto. Como marco regulatório, a PNRS estabelece os princípios para a elaboração de planos municipais, regionais, estaduais e nacional (MMA, 2012).

O artigo 9º da PNRS, inspirado no art. 4º da Diretiva Europeia nº2008/98/CE, fala do princípio da hierarquia da gestão dos resíduos, que estabelece uma ordem de prioridade para a gestão e para o gerenciamento de resíduos sólidos apresentada na figura 6: não geração (prevenção), redução (minimização), reutilização (reúso), reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos (recuperação) e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Desta maneira, percebe-se que, segundo a PNRS, a política que deve ser priorizada é a de que se deve buscar alternativas de não gerar ou ao menos minimizar a geração dos resíduos sólidos urbanos. É interessante notar também que dentro desta hierarquia estão inseridos os 3R's (reúso, reciclagem, recuperação), que são constantemente citados, já que eles dizem respeito às ações a serem tomadas com os resíduos já existentes a fim de minimizar a necessidade de disposição em aterros sanitários dos mesmos.



Figura 6 - Hierarquia da gestão dos resíduos

Fonte: BRASIL, 2012

Comparando a hierarquia da gestão de resíduos com as destinações que foram apresentadas no início do capítulo, percebe-se que, mesmo pensando no aterro sanitário, o mesmo se apresenta como a opção menos favorável na gestão de resíduos. Assim, o presente trabalho busca dar uma opção de reutilização aos resíduos, visando evitar a necessidade de destinar o lixo à aterros sanitários sem qualquer perspectiva de reutilização. Como irá ser mostrado a seguir, as possíveis técnicas de reutilização dos resíduos podem direcionar o lixo diretamente para diferentes lugares, como as usinas de compostagem, as usinas de reciclagem ou até mesmo locais para a incineração.

Assim, é válido descrever brevemente os possíveis processos já utilizados para o reaproveitamento dos resíduos sólidos urbanos, não só pensando na reutilização do mesmo, como também no aproveitamento de seu poder calorífero ou do poder calorífero de seus derivados, com destaque ao processo que será abordado no estudo de caso deste trabalho, a gaseificação.

2.2.1. Processos de aproveitamento do resíduo sólido urbano

2.2.1.1. Reciclagem

A reciclagem se apresenta como uma importante alternativa que viabiliza o retorno de diferentes materiais para o ciclo produtivo, reaproveitando produtos que já viraram resíduos e que não possuíam mais qualquer utilidade. A importância da reciclagem torna-se evidente quando se pensa na gama de materiais que podem participar deste processo: metais, papéis, plásticos e vidros.

Entretanto, o país ainda não aproveita todo o seu potencial em relação à reciclagem. Segundo PINTO COELHO (2009), em 2006 foram gerados cerca de 50 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, dos quais somente 18% da fração seca (metais, papéis, plásticos e vidros) foram devidamente reciclados. Nesse cenário, apenas o alumínio apresenta uma estrutura sólida de reciclagem. Suas taxas de reciclagem chegam a números próximos de 100%, o que exemplifica a real possibilidade de implementação do processo.

O não aproveitamento de todos resíduos secos que poderiam ser reciclados pode ser justificado pela dificuldade em se garantir que os materiais específicos para cada processo consigam chegar ao seu destino. Sabendo a diversidade de tipos de materiais presentes nos resíduos, implementar um processo que efetivamente permita a separação destes materiais é de extrema importância. A coleta seletiva, nesse contexto, aparece como solução para garantir e viabilizar o processo de reciclagem.

A coleta seletiva é um processo que, no Brasil, é realizado por catadores de maneira informal, o que dificulta a análise e a obtenção de dados estatísticos sobre os mesmos. Entretanto, não se pode deixar de destacar o grande papel que eles exercem no contexto da reciclagem e da gestão de resíduos sólidos no país (GOUVEIA, 2012).

Segundo GOUVEIA (2012), uma tentativa de aumentar os índices referentes à reciclagem poderá ser realizada com o incentivo à coleta seletiva, que possui dois principais pontos e responsáveis: o momento da geração do resíduo, no qual a

população possui o dever de exercer esse papel e separar o lixo reciclável do restante; e o momento que o resíduo chega nas centrais de triagem, onde os catadores de materiais podem ser encontrados e destacados.

Neste cenário, pode-se citar também a logística reversa como uma importante aliada para viabilizar a reciclagem em grandes empresas. A logística reversa pode ser definida como o gerenciamento do fluxo que se inicia no ponto de consumo e termina no ponto de origem, onde o resíduo foi produzido, ou seja, o fluxo inverso ao praticado na produção e distribuição do produto até o consumidor final (LACERDA, 2013).

Há uma tendência cada vez maior em tornar as empresas responsáveis por todo ciclo de vida de seus produtos, baseando-se na questão ambiental e nos prejuízos ambientais que o não gerenciamento pode causar. Pode-se citar como exemplo a indústria de latas de alumínio, que reciclam sua matéria-prima e utilizam cooperativas de catadores para viabilizar o processo, gerando taxas de reciclagens próximas a 100% (PINTO-COELHO, 2009).

Desta maneira, percebe-se que a logística reversa pode ser uma grande aliada para a consolidação da reciclagem de todos os materiais possíveis de entrarem nesse processo. Espera-se que um número cada vez maior de empresas enxerguem na reciclagem uma possibilidade de reaproveitamento e uma consequente redução nos custos com matéria-prima, a fim de diminuir a quantidade de resíduos gerados e não reutilizados.

2.2.1.2. Compostagem

A compostagem não só diz respeito a forma de aproveitamento do lixo urbano, como também ao local de deposição do mesmo, sendo caracterizada assim pela decomposição natural nos resíduos orgânicos. É definida como um processo biológico aeróbio controlado, onde microorganismos decompõem a matéria orgânica transformando-a em um produto chamado de composto orgânico (ou húmus), rico em nutrientes e que possui como vantagens o favorecimento da composição do solo e o aumento da capacidade do mesmo de reter água (DIONYSIO, 2010). Desta

forma, o composto pode ser aplicado ao solo para melhorar suas características, sem ocasionar riscos ao meio ambiente.

Segundo KUNAR (2011), existem dois métodos de compostagem aeróbia: pré-fermentação e pós-fermentação. A diferença entre eles está basicamente na preparação dos resíduos. Na pré-fermentação, os resíduos irão para o processo de compostagem da maneira que eles estão, enquanto na pós-fermentação acontece uma separação do que pode ou não ser compostado, a fim de otimizar tempo e espaço. Os resíduos orgânicos são compostados na presença de ar durante um período de 2-4 semanas seguido por uma fase de maturação com a mesma duração (MARCHE ET AL., 2003 apud KUNAR, 2011). Finalmente, o produto composto é peneirado para remover componentes indesejáveis e preparado para utilização posterior .

Por ser um processo com método simplificado e sem custos elevados, a compostagem é vista como uma alternativa ambientalmente favorável, por dar ao resíduo orgânico um reaproveitamento agrícola, além de garantir a eliminação de patógenos devido à alta temperatura (55°C), que é atingida no processamento à medida em que a ação dos microorganismos se intensifica (FUNASA, 2007). A compostagem é vista como uma reciclagem orgânica que pode ser muito providencial no gerenciamento dos resíduos gerados.

Por fim, não é difícil perceber que uma das dificuldades que a compostagem encontra em seu processo também é a obtenção do material orgânico devidamente separado do restante dos resíduos, seja antes do processo, ou após o processo. Ratifica-se assim, novamente, a importância da coleta seletiva, que eliminaria a necessidade dos locais de compostagem separarem sua matéria-prima de interesse.

2.2.1.3. Incineração

A incineração é um processo complementar ao aterramento e aos programas de reciclagem. Sabe-se que o processo emprega altas temperaturas de fornos para queimar correntes 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 (MORGADO E FERREIRA, 2006).

É importante destacar que, para ser ambientalmente viável, uma planta de incineração deve estar preocupada com uma operação a partir de equipamentos eficazes e uma equipe bem treinada, lembrando sempre de garantir que os gases da combustão passem por um tratamento após serem gerados, com a visão ambiental sempre presente.

Entre as vantagens da incineração, pode-se citar o fato de tal processo resultar em uso direto da energia térmica para geração de vapor e/ou energia elétrica, necessitando de alimentação contínua de resíduos, o que se mostra favorável para maximizar a reutilização dos resíduos. Além disso, para a implementação de tal técnica, uma área pequena para instalação já é suficiente. Pensando agora na desvantagens, pode-se citar: metais tóxicos podem ficar concentrados nas cinzas; possibilidade de emissão de dioxinas e furanos, cancerígenos; altos custos de investimento e de operação e manutenção (OLIVEIRA e PEREIRA, 2000).

2.2.1.4. Pirólise

Segundo RTI International (2012), a pirólise é um processo endotérmico que envolve a utilização de calor para decompor termicamente o material à base de carbono na ausência de ar ou de oxigênio, provocando assim a quebra das moléculas mais pesadas e a sua conversão em outras com peso molecular menor. Desta forma, costuma-se obter como produtos do processo frações líquidas, sólidas e gasosas (HDR, 2013).

A fração sólida consiste principalmente de cinzas e carbono, dependendo da temperatura empregada no processo, e podem ser utilizados como combustível. A fração gasosa também é combustível, sendo composta por hidrogênio, monóxido e dióxido de carbono, gás metano e outros hidrocarbonetos. Por fim, a fração líquida, também chamada de óleos pirolíticos, ou bio-óleo, é uma mistura complexa de componentes aromáticos e alifáticos oxigenados. (LORA et al, 2012).

Segundo COSTA (2006) , na pirólise costuma-se utilizar temperaturas moderadas e pressões não muito superiores à pressão atmosférica. Porém, é válido destacar também os dois tipos de pirólise existentes: a pirólise lenta, a qual é realizada a baixas temperaturas com o objetivo de maximizar a porcentagem de sólido carbonoso e a pirólise rápida (flash), utilizada para maximizar os produtos gasosos ou líquidos (COSTA, 2006). Segundo Zabaniatou et alii (2008, apud LORA et al, 2012), a temperatura é a variável que possui o maior efeito sobre a pirólise.

2.2.1.5. Gaseificação

O processo de gaseificação, por se apresentar como uma tecnologia madura, muito utilizada com matérias-primas fósseis, pode ser considerado uma alternativa viável e sustentável para o processamento dos resíduos sólidos urbanos com o objetivo de produzir um combustível gasoso com melhores características de transporte, melhor eficiência de combustão e também que possa ser utilizado como matéria-prima para outros processos (CENBIO, 2002).

De acordo com BRIDGWATER (1995), gaseificação é a conversão através da oxidação parcial a elevadas temperaturas de um elemento carbônico em um gás de síntese. É um processo endotérmico que requer uma fonte de calor em uma atmosfera deficiente em oxigênio, para que aconteça a oxidação parcial dos resíduos orgânicos (RTI INTERNATIONAL, 2012). O processo pode ainda ser classificado como direto e indireto.

A gaseificação direta ocorre quando o agente de gaseificação é utilizado para oxidar parcialmente o material, fornecendo energia para manter a temperatura do processo (Godinho, 2006). Ou seja, gaseificadores diretos operam normalmente usando ar ou oxigênio como agentes oxidantes. Neste caso, todo o calor necessário ao processo é produzido internamente dentro do reator (VITASARI et al., 2011).

A gaseificação pode ainda ser realizada de forma indireta, ou seja, o processo é conduzido com agentes de gaseificação isentos de oxigênio (Godinho, 2006). Nesse tipo de gaseificação, como o agente oxidante não é utilizado, é necessário fornecer calor através de uma fonte externa. Vapor d'água é o agente de

gaseificação mais comumente utilizado na gaseificação indireta, pois é facilmente produzido e aumenta a quantidade de hidrogênio no gás combustível produzido (SINGH et al., 2011).

Desta forma, os processos de gaseificação podem ser esquematizados da seguinte maneira:

- **Gaseificação Direta:**

Combustível + Oxigênio limitado → Gás de síntese + Resíduos

- **Gaseificação Indireta:**

Combustível + Agente de gaseificação isento de oxigênio → Gás de síntese + Resíduos.

O principal produto obtido através de tal processo, o gás de síntese, é uma mistura gasosa de CO e H₂, que pode ser utilizada para a produção de eletricidade, de vapor, de produtos químicos e até de biocombustíveis. Além do gás de síntese, outros subprodutos podem ser encontrados no processo, porém a composição e proporção dos mesmos variam de acordo com o reator, com as condições de reação e com a matéria-prima utilizada, que varia de acordo com a origem dos resíduos orgânicos utilizados.

Ao final do processo, é interessante notar que a gaseificação produz resíduos (alcatrão, carvão e cinzas). Alguns desses resíduos podem ser reutilizados, enquanto outros não, e entender as particularidades e a quantidade de resíduos não aproveitados são aspectos importantes para um estudo mais aprofundado da viabilidade da gaseificação, dependendo das características da matéria-prima.

Segundo RTI International (2012), além da classificação já apresentada, a gaseificação possui outras possíveis variações que devem ser consideradas no presente trabalho. A gaseificação pode ocorrer em altas ou baixas temperaturas, sendo considerada como alta temperatura reatores operando a 1200°C e baixas temperaturas algo em torno de 600 e 870°C. Basicamente, a diferença entre os dois processos consiste na necessidade de posteriores processamentos do produto quando não realizados a altas temperaturas. Já o último tipo de gaseificação a ser

citado ocorre em um reator com um arco de alta tensão que converte o gás em um campo de energia intenso em temperaturas muito altas. O calor e o plasma ionizado são utilizados para tratar a matéria-prima e assim, convertê-la em gás de síntese.

É interessante notar que o aproveitamento energético pela conversão de resíduos através da gaseificação é uma alternativa que exige menor separação dos resíduos, usada apenas para os materiais recicláveis e que não podem ser convertidos em energia (metais, vidros, pilhas etc) (LOPES et al., 2011).

O presente trabalho irá se basear em uma planta de gaseificação já existente no Canadá, devido ao fato da mesma ser o exemplo mais evidente do aproveitamento dos resíduos com a utilização desta tecnologia. A gaseificação é o processo aplicado nesse caso, pois quando comparado com a pirólise, é o que mais se adequa à escala necessária. Então, para dar prosseguimento ao estudo, é válido descrever o funcionamento da planta citada a partir do estudo de caso da empresa Enerkem, a fim de melhor entender as peculiaridades do processo e de sua implementação.

3. Descrição dos cenários-base do projeto

Antes de se começar a elaborar a implementação propriamente dita da planta de gaseificação no Rio de Janeiro, é necessário entender e analisar o cenário no qual esta planta está inserida no Canadá, considerando o contexto institucional das normas relacionadas aos resíduos, a localização da instalação, a capacidade produtiva, as características do processo e as parcerias que viabilizaram a implementação da mesma.

Após essa descrição, será realizada uma breve apresentação do cenário atual carioca quanto à infraestrutura de transporte e quanto aos resíduos sólidos urbanos, levando em consideração também a parte legal que rege o gerenciamento dos resíduos, a fim de contextualizar o cenário no qual o projeto deste trabalho irá se basear.

3.1. A empresa Enerkem

A Enerkem é uma empresa canadense fundada em 2000 com o objetivo de gerar energia limpa e produtos com valor agregado a partir de materiais até então desperdiçados, como é o caso dos resíduos sólidos urbanos que não podem ser reaproveitados na reciclagem (ENERKEM, 2015). Sua tecnologia tem como processo base a gaseificação, e foi inspirada nas pesquisas e estudos realizados pelo Dr. Esteban Chornet, professor emérito da Université de Sherbrooke (Quebec, Canadá). Ele e seu filho Vicent, atual CEO da empresa, enxergaram a oportunidade de desenvolver tal tecnologia e trazê-la ao mercado.

Segundo Lynch (2015), a fase inicial de desenvolvimento da tecnologia consistiu basicamente em pesquisa de bancada, com o objetivo de caracterizar os parâmetros ótimos do processo. Desta forma, com a obtenção de dados empíricos, foi possível apoiar a concepção e implementação de uma plataforma que teria a função de fornecer dados para as instalações de grande escala que, futuramente, seriam construídas.

O foco do projeto inicial consistia na utilização do gás de síntese a partir de vários materiais de baixo custo, priorizando os resíduos sólidos, motivados justamente pela vontade de viabilizar uma opção de reúso deste. Segundo Lynch (2015), a equipe pesquisadora da Enerkem Inc iniciou seus esforços em Sheerbrooke (Quebec – Canadá) e expandiu posteriormente para o Centro de Pesquisas Avançadas em Edmonton (Alberta – Canadá). Os dados obtidos, juntamente com as análises de engenharia, permitiram a construção de uma instalação demonstrativa em Quebec em 2011 e, posteriormente, em 2013, a planta comercial de Edmonton, também conhecida com Enerkem Alberta Biofuels (LYNCH, 2015).

Sabe-se que, como produto final, a Enerkem em suas pesquisas sempre priorizou a obtenção de etanol, porém até o presente momento sua principal instalação comercial localizada em Edmonton, Alberta, opera até a obtenção de metanol, que é um precursor de diversos outros produtos químicos, inclusive do etanol (ENERKEM, 2015).

A empresa propõe a produção de etanol a partir de uma rota termoquímica, com um processo que pode ser resumido em quatro grandes etapas principais, segundo relatório do RTI International (2012):

- 1) Preparo da biomassa: consiste na remoção de metais e na redução do tamanho das partículas que, como será explicado posteriormente, é um processo que não é realizado pela Enerkem, e sim pelo Edmonton Waste Management Centre;
- 2) Gaseificação: processo já descrito na seção anterior. A Enerkem utiliza um reator de leito fluidizado de borbulhamento, que distribui uniformemente o ar ou o gás para cima, através de um leito de partículas sólidas (areia) e utiliza a velocidade do ar ou gás para criar turbulência. Este processo leva cerca de 10 segundos e opera em condições de baixa gravidade, utilizando temperaturas inferiores a 1400 ° F e pressões abaixo de 5 atm.
- 3) Limpeza: remoção de indesejáveis do gás de síntese, para torná-lo propício para a produção de etanol e produtos químicos. Algumas etapas que constituem

o processo de limpeza incluem a utilização de ciclones, lavagens e equipamentos de absorção.

4) Síntese catalítica em duas etapas: conversão do gás de síntese a metanol, seguido de conversão de metanol a etanol, dependendo do produto de interesse. Para tal, uma porção do gás de síntese reage com um catalisador para a produção do metanol que, para ser convertido em etanol, reage com o monóxido de carbono presente no próprio gás de síntese produzindo o acetato de metila. A conversão final em etanol se dá através da inserção de uma molécula de hidrogênio que é extraída do syngas produzido. Por fim, ocorre um processo de purificação para que o produto final possa ser comercializado dentro dos padrões de qualidade. A figura 7 ilustra esse processo.

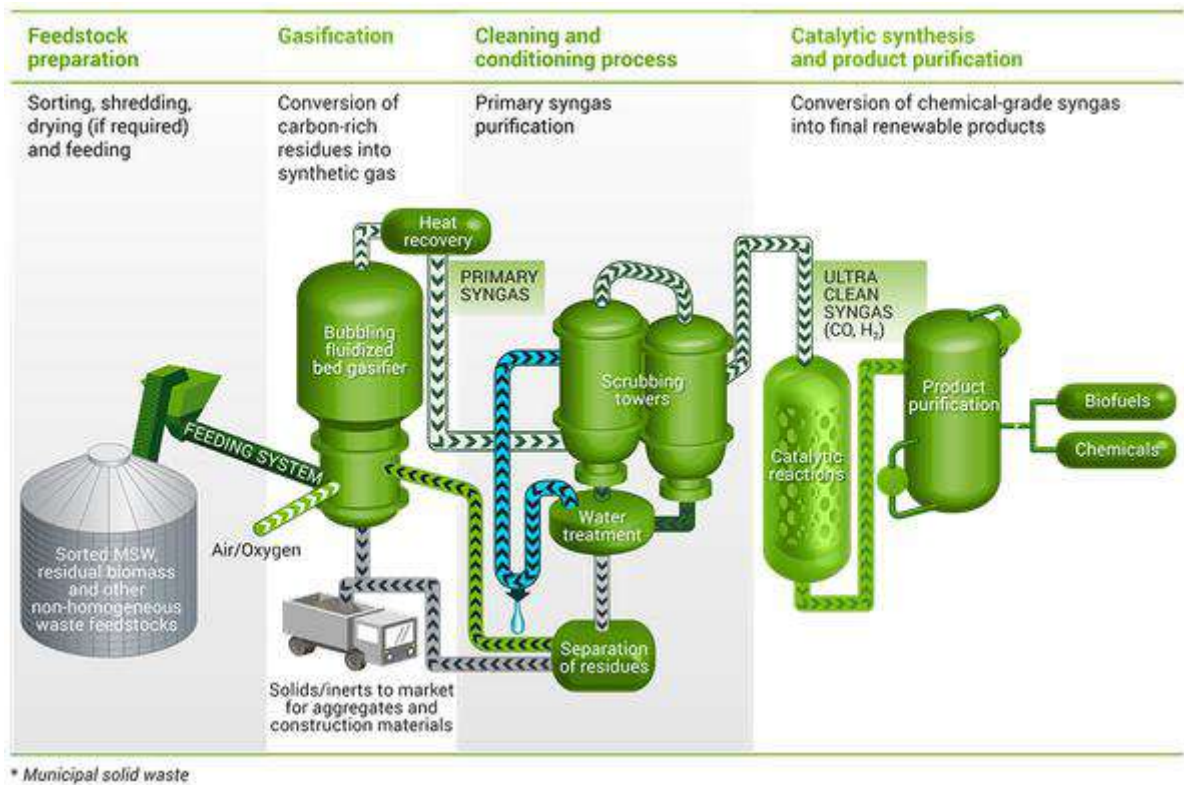


Figura 7 - Processo produtivo da Enerkem

Fonte: ENERKEM, 2015.

Em seu projeto, a planta comercial de Alberta foi planejada para ter a capacidade de processar 100.000 toneladas secas de resíduos (que se refere aos

resíduos secos) para a produção de 36 milhões de litros de biocombustível ou produtos químicos anualmente, ou seja, o rendimento da planta é de 360 L de etanol para cada tonelada de fração seca dos resíduos (EDMONTON, 2012). Desta forma, considerando contínuo o funcionamento da planta, consegue-se obter a informação de que, diariamente, são utilizadas aproximadamente 274 toneladas secas de resíduos.

Pensando na eficiência do processo, a Enerkem caracteriza a mesma a partir da razão entre o poder calorífero do syngas produzido e a temperatura de alimentação do processo, obtendo resultados superiores a 72%, com a conversão de 90% das moléculas de carbono em produto final (RTI INTERNATIONAL, 2012). Além disso, é válido ressaltar que, com a implementação da planta de Alberta, a cidade de Edmonton, que antes depositava 50% de seu lixo em aterros sanitários, nos dias atuais destina apenas 10% dos resíduos para aterros, o que confere um grande benefício ambiental, visto que 40% dos resíduos são destinados à Enerkem. (ENERKEM, 2014).

É muito importante considerar o fato de que, para a realização dos estudos, das instalações em diferentes escalas e da implementação da tecnologia proposta, a Enerkem contou com investidores financeiros e estratégicos, que entenderam os benefícios que tal processo traria. Assim, pode-se citar a Green Field², a Valero³ e Edmonton Waste Management Centre como os parceiros estratégicos na implementação da planta comercial de Alberta (ENERKEM, 2014). A Green Field e a Valero podem ser consideradas parceiras, cujo maior interesse está no produto final, no etanol, enquanto o Edmonton Waste Management Centre possui maior interesse na utilização dos resíduos não compostáveis e não recicláveis como matéria-prima.

O custo total da construção da “Enerkem Alberta Biofuels” foi de 100 milhões de dólares, e a prefeitura de Edmonton assim como Alberta Innovates Energy and Environment Solutions⁴ foram os investidores parceiros nessa construção. É importante destacar também que a Enerkem, desde seu surgimento,

² Maior produtor tradicional de etanol do Canadá (NOVA CANA, 2013).

³ Fabricante e distribuidor de combustíveis, de outros produtos petroquímicos e de energia (NOVA CANA, 2013).

⁴ Agência líder para o avanço da energia e da inovação tecnológica e ambiental de Alberta. É uma organização criada pelo Governo de Alberta com o objetivo de desenvolver soluções para os desafios dos setores energético e ambiental (AI-EES, 2016).

contou com um investimento de 250 milhões de dólares de seus investidores, ratificando a seriedade do projeto e os benefícios que o mesmo pode trazer (ENERKEM, 2014).

O principal desafio logístico da Enerkem em seu processo é a obtenção da matéria-prima de maneira contínua e economicamente viável. A abundância de resíduos sólidos urbanos é sabida, porém para que a conversão dos mesmos em etanol ocorra, é necessário garantir que estes estejam no lugar certo e na quantidade correta para serem utilizados.

A fim de encontrar a melhor alternativa para obter sua matéria-prima sem precisar contar com um alto custo logístico, a estratégia da Enerkem é utilizar suas parcerias para a escolha de uma localização com uma vantagem quanto à coleta e transporte dos resíduos sólidos urbanos. Desta forma, para a construção da Enerkem Alberta Biofuels, utilizou-se a parceria com a Edmonton Waste Management, que já possui uma infraestrutura estabelecida, sendo considerada uma referência em gestão de resíduos. Desta forma, a instalação Enerkem Alberta foi construída na área do Edmonton Waste Management Centre com o objetivo de compor o processo pelo qual os resíduos já passam, utilizando a infraestrutura já existente.

Tomada a decisão quanto à localização da planta comercial, percebe-se que a Enerkem tornou sua logística de obtenção de matéria-prima simplificada pelo fato de já existir uma logística montada para apoiar o centro de tratamento. Pode-se dizer então, que a empresa canadense encontrou uma maneira de minimizar seu custo logístico, formando juntamente com a central de tratamento um sistema integrado de gestão de resíduos.

A partir da figura 8 consegue-se visualizar a localização da planta de gaseificação da Enerkem (que na figura 8 está descrita como “Enerkem Alberta Biofuels”), e confirmar sua localização na área do centro de tratamento de resíduos de Edmonton, ratificando assim a parceria e a integração do processo. Pode-se notar ainda, que o aterro sanitário existente é muito pequeno quando comparado com as instalações de reaproveitamento que existem no Edmonton Waste Management Centre. Tal fato evidencia um dos objetivos principais do

gerenciamento de resíduos, que é o de minimizar a destinação dos resíduos à aterros, sem qualquer forma de reaproveitamento.

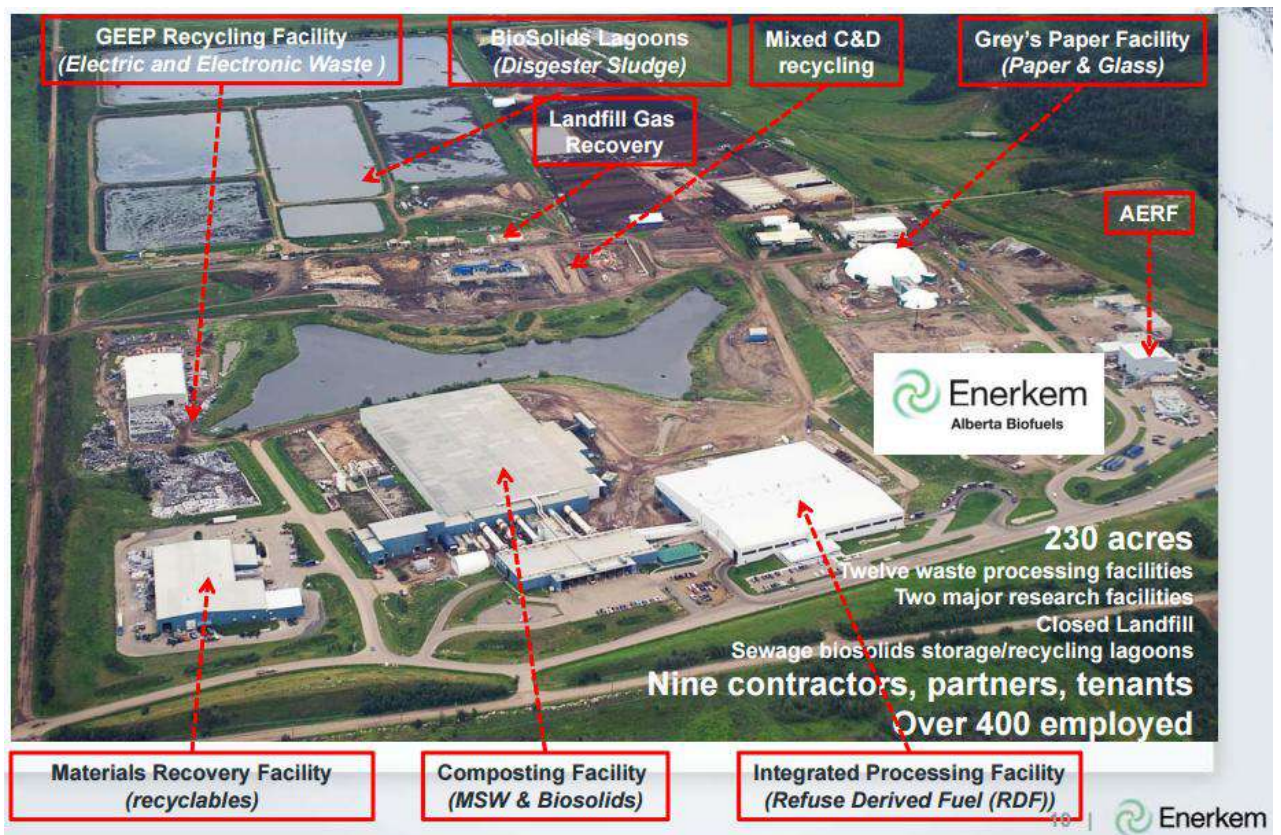


Figura 8 - Edmonton Waste Management Centre

Fonte: ENERKEM, 2014

A figura 9 representa de maneira esquemática a característica agregadora que a Enerkem Alberta Fuels possui na gestão de resíduos de Edmonton. Nela, pode-se entender o fluxo pelo qual os resíduos seguem e perceber que a parcela dos resíduos que a planta de gaseificação irá utilizar é a que iria para os aterros sanitários, ou seja, tal parcela não teria nenhum tipo de reutilização direta por não ser reciclável ou compostável.

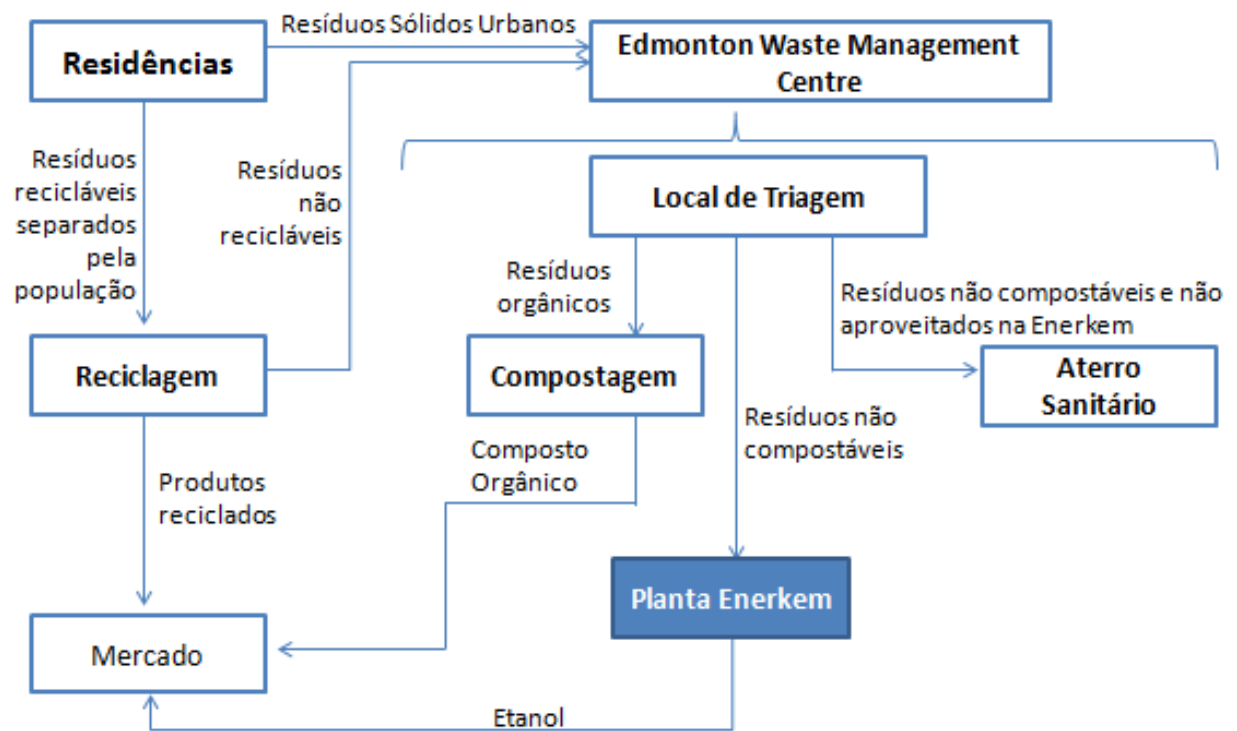


Figura 9 - Gestão integrada de resíduos em Edmonton

Fonte: Elaboração própria a partir de ENERKEM, 2014

Sendo assim, pode-se descrever o processo de obtenção dos resíduos sólidos urbanos pela Enerkem Alberta da seguinte maneira:

A matéria-prima utilizada chega em caminhões de lixo no Edmonton Waste Management Centre. O lixo é então despejado em um local específico, para ser levado até equipamentos que removem os orgânicos úmidos que são enviados para compostagem. É importante ressaltar que no processo da Enerkem, os materiais recicláveis não são nem mesmo levados ao Edmonton Waste Management Centre, pois já foram separados pela própria população e, desta forma, não foram recolhidos pelos caminhões citados (SMITH, 2015).

Os materiais não-recicláveis e não-compostáveis são então levados a um equipamento desenvolvido pela Vecoplan LLC⁵ (Archdale, Carolina do Norte), localizado no Edmonton Waste Management, que os prepara para o processo da Enerkem. Tal preparo consiste na trituração do resíduo, com o intuito de facilitar a

⁵ Fabricante alemão de tecnologias que são necessárias nos processos de reciclagem e de reaproveitamento, como é o caso do triturador utilizado pela Enerkem (VECOPLAN, 2016).

entrega e posterior separação dos materiais não ferrosos (como o alumínio), que são removidos e reciclados. O último passo da preparação é um triturador secundário que ajusta o tamanho das partículas do material, a fim de facilitar o fluxo e a homogeneidade do mesmo. Terminado o pré-tratamento, o lixo, que neste momento do processo é chamado de *fluff*, é transportado através de uma esteira que o levará diretamente até o reator de gaseificação, que funciona de forma contínua (SMITH, 2015).

É interessante notar que, já em 1996, quando no Brasil a PNRS ainda não havia sido criada e, desta forma, não se tinha uma lei forte que focasse na gestão de resíduos, em Alberta já existia uma lei designada especialmente às instalações de aproveitamento dos resíduos sólidos. Tal lei, chamada de Alberta Regulation 192/1996 – “Waste Control Regulation”, trata de todas as diretrizes e responsabilidades que uma empresa que deseja implementar uma instalação deste tipo deva possuir (ALBERTA, 1996).

A lei em questão primeiramente determina que nenhuma pessoa deve depositar resíduos destinados a eliminação em qualquer lugar que não seja uma instalação de gestão de resíduos autorizada e em conformidade com a Lei. Além disso, ela trata da proibição da queima indiscriminada dos resíduos sólidos urbanos, mesmo se realizada nos centros de gestão de resíduos, evidenciando a necessidade de aprovação quanto à localidade e à condução da queima de acordo com a “Substance Release Regulation (AR 124/93)”. Desta maneira, percebe-se que a província de Alberta já apresentava um suporte legal para a implementação de tecnologias de reaproveitamento dos resíduos.

Como já foi citado, a tecnologia da Enerkem é aplicada nos resíduos que não são compostáveis ou recicláveis. Desta maneira, é interessante para o presente trabalho entender o quanto isso significa em relação aos resíduos gerados na

Província de Alberta. A figura 10 mostra a composição gravimétrica percentual do lixo gerado em Alberta, e ela será importante para futuras análises comparativas que serão realizadas.

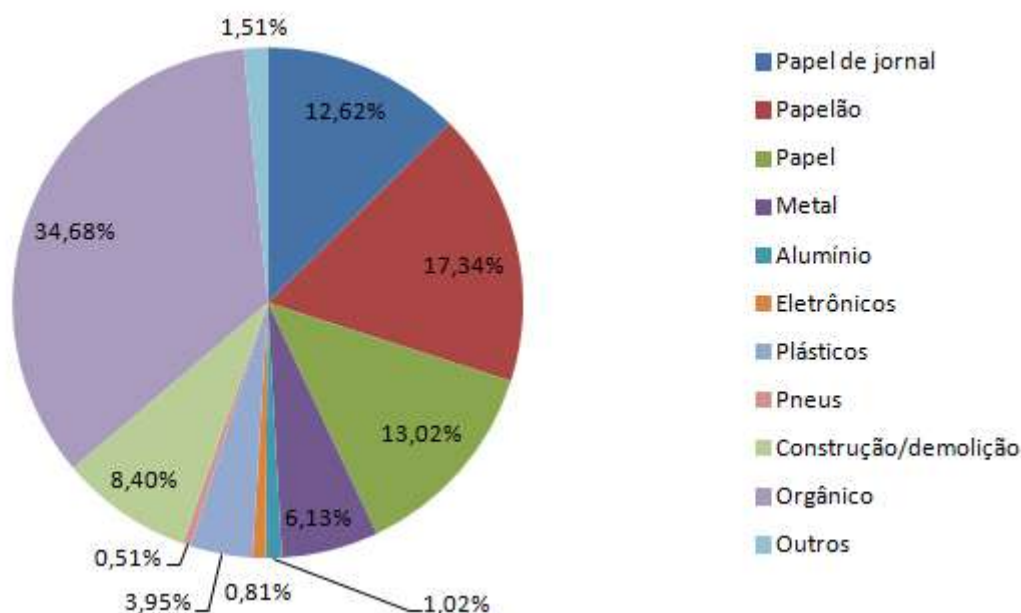


Figura 10 - Composição gravimétrica do lixo gerado em Alberta

Fonte: elaboração própria a partir de STATISTICS CANADA, 2008

Como já citado, diariamente a Enerkem recebe aproximadamente 274 toneladas de resíduos secos diariamente, e tal quantidade corresponde a 40% do total de resíduos produzidos diariamente pela cidade de Edmonton. Desta forma, pode-se dizer que diariamente a cidade produz 685 toneladas de resíduos sólidos. Observando a figura 10, sabendo que a tecnologia da Enerkem utiliza somente como matéria-prima os resíduos secos, percebe-se que somente os materiais orgânicos e de construção não são passíveis de serem reaproveitados pela Enerkem. Desta forma, diariamente são produzidos 56,92% de resíduos que poderiam ser utilizados na planta da Enerkem,

Tendo em vista o que foi apresentado, percebe-se que em Alberta, Canadá, a Enerkem conseguiu encontrar uma maneira de minimizar tanto seus custos logísticos como os operacionais (quando trabalha-se com condições brandas no processo), aplicando uma tecnologia inovadora que traz uma atrativa solução para os resíduos sólidos urbanos. Reproduzir essa tecnologia em outros lugares passa a

ser um desejo de muitos que enxergam nela a possibilidade de uma solução lucrativa e viável para a grande quantidade de resíduos gerados.

O objetivo deste trabalho é o de simular a implementação de uma planta de gaseificação da Enerkem na cidade do Rio de Janeiro, e tentar reproduzir qual seria o melhor cenário logístico para que o processo também fosse economicamente viável. Para tal, depois de entender melhor como a Enerkem funciona, deve-se apresentar as questões que envolvem a cidade do Rio de Janeiro quando pensa-se em resíduos sólidos urbanos.

3.2. Infraestrutura de transporte do Rio de Janeiro

Como já foi dito anteriormente, a infraestrutura brasileira é apontada como um dos principais gargalos encontrados em qualquer projeto logístico, além de se apresentar como um parâmetro limitante na construção de algum projeto que necessite de sua utilização. Apesar dos diversos modais de transporte existentes e apresentados, há um desequilíbrio dos mesmos na malha de transportes do Brasil, e no Rio de Janeiro isso não é diferente.

“A principal consequência do desbalanceamento da matriz de transportes é o impacto nos preços relativos cobrados por tonelada.kilômetro (ton.km) nos diferentes modais. O excesso de oferta de transporte rodoviário, resultante da falta de regulamentação da entrada de novas empresas no setor, cria uma forte concorrência com os outros modais de transporte, o que inibe o surgimento da escala necessária para justificar investimentos em modais intensivos em custos fixos, como o ferroviário, por exemplo” (SECRETARIA DE TRANSPORTES, 2011).

Ainda falando do modal rodoviário, segundo a Secretaria de Transportes (2011), o Estado do Rio de Janeiro conta com 23.019 km de rodovias pavimentadas e não pavimentadas em seu território, das quais 7% são federais, 22% são estaduais e 71% delas são municipais, como está representado na figura 10.

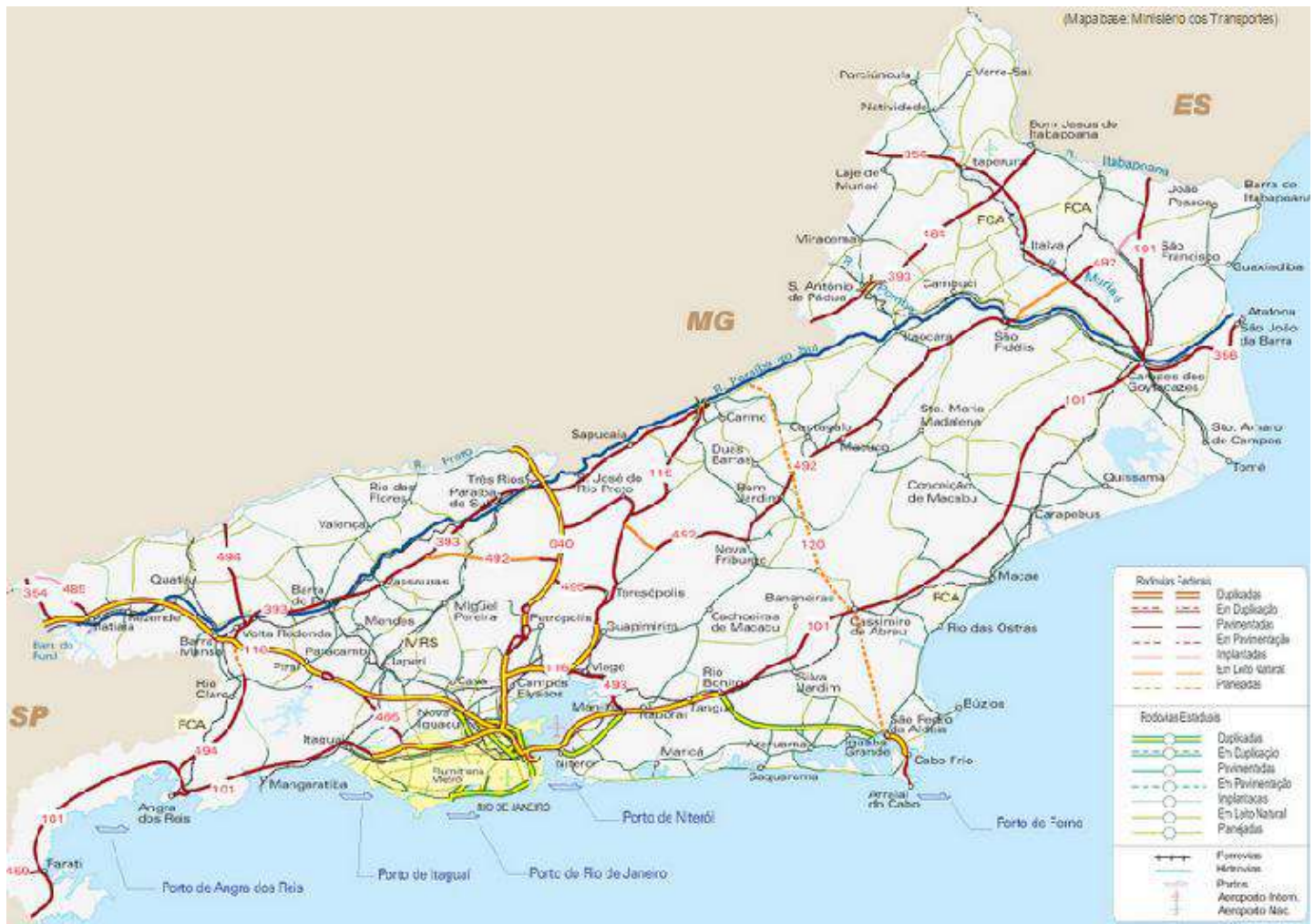


Figura 11 - Principais estradas e rodovias do Estado do Rio de Janeiro

Fonte: MINISTÉRIO DO TRANSPORTE, 2012

Focando agora no modal ferroviário, a partir dos dados apresentados do mapeamento do sistema logístico de cargas do estado do Rio de Janeiro, do total de ferrovias concedidas, apenas cerca de 10.000 km têm aproveitamento de mais de um trem por dia e, do restante, praticamente a metade não é utilizada (SECRETARIA DE TRANSPORTES, 2011). Desta forma, observa-se uma baixa integração entre as ferrovias com outros modais, assim como baixas distâncias médias percorridas. Ainda segundo os dados da Secretaria de Transportes (2011), parte do motivo disto ocorrer se deve ao fato de que as linhas foram sendo construídas para atender demandas específicas de alguns setores agroexportadores da época, como café, açúcar e borracha, e por isso, não visavam a integração dos traçados para formar uma malha contínua.

Outro modal de transporte relevante para o trabalho proposto e que não é devidamente aproveitado é o duto, por se tratar de uma possível maneira de se transportar etanol, formando um álcoolduto. Devido à característica e natureza dos materiais transportados por dutos, não é difícil imaginar que a grande maioria dos dutos existentes no Rio de Janeiro são ativos da Petrobras, operados pelas Transpetro e regulados pela Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) (SECRETARIA DE TRANSPORTES, 2011).

“Em função disso, o desenho e a operação deste sistema logístico em geral acompanha as diretrizes de uma política energética, sendo fortemente influenciada por decisões de localização de novas refinarias, mudança de insumo energético para suprimento de grandes indústrias e desenvolvimento de mercado externo para biocombustíveis”.
(SECRETARIA DE TRANSPORTES, 2011)

Apesar de não ter na literatura dados atualizados e confiáveis a respeito dos números correspondentes à malha de transportes da cidade do Rio de Janeiro, especificamente, não é difícil imaginar que, sendo uma metrópole, a proporção apresentada em relação aos modais de transporte do estado do Rio de Janeiro se aplique também à cidade do Rio de Janeiro.

Se tratando do transporte de resíduos sólidos urbanos, que são gerados diariamente por toda a população, deve-se priorizar o modal que possui maior flexibilidade ao utilizar sem maiores problemas o sistema porta-a-porta. Como já citado, é o modal rodoviário que se enquadra neste cenário, justamente por conta de sua infraestrutura que, quando comparada com os outros modais, é a que se apresenta mais disponível por conectar muitos lugares.

O maior desafio do modal rodoviário é aprender a lidar com a super lotação das rodovias, o que resulta no desgaste das mesmas devido ao alto volume e à alta frequência de veículos que por ali passa, necessitando de constante manutenção. É por isso que o uso desse modal vem encarecendo substancialmente. O desequilíbrio entre os modais na cidade do Rio de Janeiro gera um ciclo que alimenta tal desequilíbrio. Este ciclo só conseguirá ser quebrado quando ocorrer um planejamento e investimento nos outros modais, a fim de balancear a malha de transportes do Rio de Janeiro.

3.3. Resíduos Sólidos Urbanos na cidade do Rio de Janeiro

Para um melhor entendimento dos possíveis entraves que serão analisados no projeto de implementação da planta seguindo os moldes da Enerkem, é necessária a realização de uma revisão do cenário carioca em relação à produção de resíduos, à destinação dada a esses resíduos e às tecnologias existentes que reutilizam o poder calorífero dos mesmos.

De acordo com dados do IBGE (2015), a cidade do Rio de Janeiro possuía, em 2015, uma população estimada em 6.476.631 pessoas distribuídas de maneira não homogênea em 1.199,828 km². Essa população produziu em 2014, de acordo com os dados da prefeitura do Rio de Janeiro, 1.859.823 toneladas de lixo domiciliar. Segundo a Prefeitura do Rio (2012), o lixo domiciliar corresponde a 50% dos resíduos gerados, visto que ainda considera-se o lixo público e os resíduos produzidos pelos grandes geradores na soma dos resíduos sólidos urbanos. Considerando o total de resíduos, pode-se caracterizá-los através da composição gravimétrica percentual apresentada na figura 12.

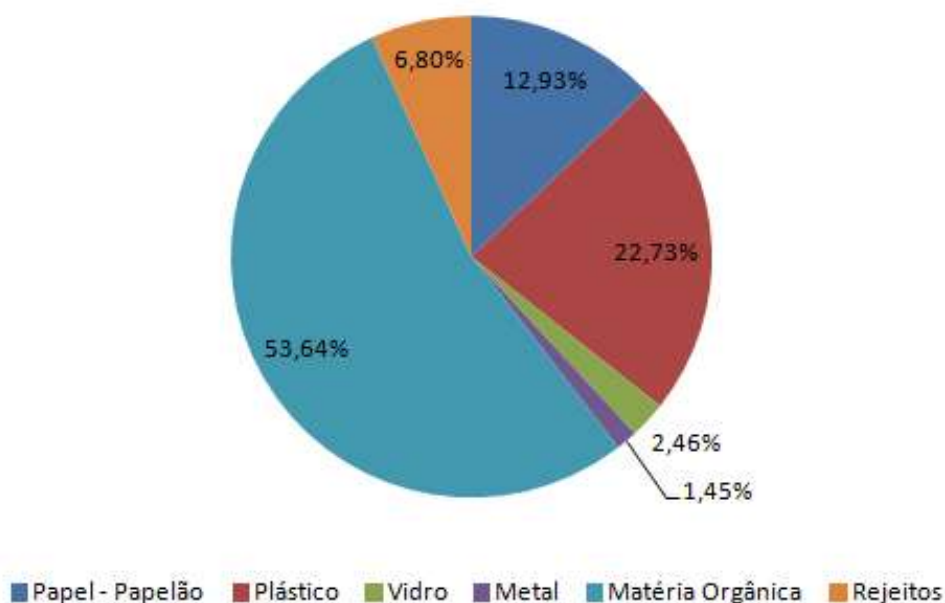


Figura 12 - Composição Gravimétrica Percentual do Lixo gerado na cidade do Rio de Janeiro em 2014

Fonte: PREFEITURA DO RIO, 2012

É importante ressaltar que o termo “rejeitos” da figura 11 refere-se a folhas, madeira, borracha, couro e ossos, não correspondendo à definição dada anteriormente para resíduos. Assim, analisando tal figura, não é difícil perceber que 39,5% dos resíduos gerados pela população carioca podem passar pelo processo de reciclagem (papel-papelão, plástico, vidro e metal), o equivalente a 734.630 toneladas. Entretanto, de acordo com os dados do Relatório preliminar de resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro (PREFEITURA, 2015), entidades de catadores de materiais recicláveis reciclam a quantidade média anual de 31.153 toneladas de materiais recicláveis. Desta forma, percebe-se que a cidade do Rio de Janeiro recicla somente 4% de seus resíduos, evidenciando uma oportunidade no que diz respeito aos recicláveis. Além disso, torna-se perceptível a importância de um aprimoramento no programa de coleta seletiva na cidade para que tais materiais recicláveis consigam ser separados e cada um destinado às devidas empresas para serem transformados e reutilizados.

O Rio de Janeiro, nos dias atuais, mesmo com a determinação da PNRS de extinguir os lixões, existem 17 unidades ativas do mesmo. Um dos eixos principais de atuação do Governo do Estado para a erradicação dos lixões municipais é o Programa Lixão Zero, que, coordenado pela Secretaria de Estado do Ambiente (SEA), foi criado antes mesmo da PNRS (RIO DE JANEIRO, 2013).

O programa Lixão Zero induz a formação de consórcios intermunicipais, propondo aterros sanitários regionais. Esse arranjo reduz os custos operacionais e promove uma preocupação integrada em relação à destinação dos resíduos, o que é muito importante para uma total conscientização e avanço nesse aspecto. Antes de tais consórcios serem formados, os chamados arranjos municipais são constituídos, os quais consistem em agrupamentos de municípios que levam seus resíduos para uma central de tratamento de resíduos ou para um aterro sanitário comum (RIO DE JANEIRO, 2013).

A figura 8 mostra parte do estado do Rio de Janeiro com seus arranjos regionais. Nesta figura, pode-se observar que a cidade do Rio de Janeiro envia seus resíduos para o centro de tratamento de resíduos localizado em Seropédica. Existe a oportunidade de, futuramente, formar um arranjo regional com o município de Magé, cuja construção de seu próprio aterro sanitário está prevista.



Figura 13 - Arranjos Regionais para disposição final dos resíduos sólidos urbanos

Fonte: RIO DE JANEIRO, 2013

Nota-se que a central de tratamento de resíduos de Seropédica (CTR Rio), que recebe os resíduos sólidos urbanos gerados na cidade do Rio de Janeiro, foi fundada em 2010 e é operado pela Ciclus. A Ciclus, formada pela união do Grupo Júlio Simões com a Haztec, é uma concessão da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb), criada com o objetivo de promover a gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, ou seja, gerenciar e garantir a transferência, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos (CICLUS, 2016). A CTR Rio foi construída após o fechamento do aterro de Gramacho, tendo como principal objetivo a missão de receber os resíduos sólidos urbanos gerados na cidade do Rio de Janeiro.

Deve-se destacar que atualmente, no Brasil, uma central de tratamento de resíduos (CTR) apresenta-se como uma das soluções mais seguras, modernas e eficientes para tratar os resíduos sólidos, pois o gerenciamento empregado no mesmo minimiza os impactos ambientais e sociais que costumam estar vinculados com os resíduos sólidos urbanos. A CTR da Ciclus é constituída por um aterro sanitário bioenergético, uma estação de tratamento de chorume para transformação em água de reuso, unidades de beneficiamento de entulho da construção civil e de podas de árvores, viveiros de mudas de espécies nativas da Mata Atlântica, laboratórios e um Centro de Educação Ambiental. É interessante destacar que o

aterro sanitário é caracterizado como bioenergético pois existe a captação do biogás gerado, para posterior utilização como energia limpa (CICLUS, 2016). O aproveitamento de biogás na CTR Rio faz parte de um Programa de Atividades (PoA) sob o MDL⁶ no Brasil, denominado “CDM PoA: Projeto de Gerenciamento de Resíduos Sólidos e de Carbon Finance da Caixa Econômica Federal” (ABRELPE, 2016). Tal projeto estimula a utilização do biogás capturado como combustível para gerar eletricidade que poderá ser utilizada no próprio local ou vendida para a rede nacional.

A operação logística da CTR Rio consiste em 7 estações de transferência (ETR) estrategicamente posicionadas, para que tais pontos recebam diariamente os resíduos coletados na região metropolitana. Além disso, nas ETRs ocorre a transferência dos resíduos para veículos com maior capacidade de transporte, melhorando assim as condições de tráfego nas vias públicas (CICLUS, 2016).

Assim, os resíduos da região metropolitana do Rio de Janeiro são coletados pelos caminhões da Comlurb, com capacidade de 6 a 7 toneladas, e nas ETRs tais resíduos são compactados, acondicionados e realocados em caminhões com maior capacidade de transporte (27 a 30 toneladas). Tais caminhões, quando chegam na CTR Rio, são pesados e descarregados diretamente no aterro sanitário. Desta forma, os caminhões com as cargas consolidadas conseguem percorrer os 75 km que separam Seropédica do município do Rio de Janeiro minimizando os custos de transporte.

Tais estações de transferência, como ilustrado pela figura 15, enviam diariamente cerca de 9.800 toneladas de resíduos à CTR-Rio e estão localizadas nos seguintes bairros: Marechal Hermes, Caju, Penha, Bangu, Tanque, Vargem Pequena e Santa Cruz.

⁶ Mecanismo de Desenvolvimento Limpo, é um dos mecanismos de flexibilização criados pelo Protocolo de Kyoto para auxiliar no processo de redução de emissões de gases do efeito estufa ou de captura de carbono.

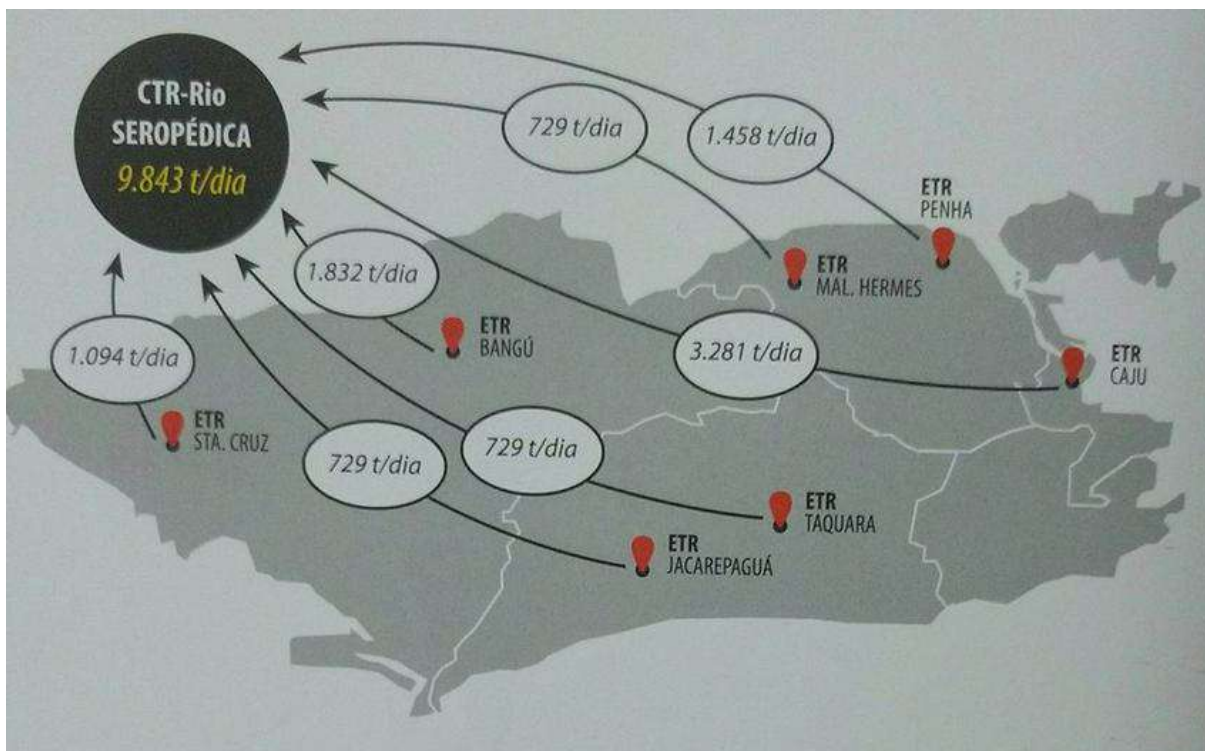


Figura 14 - Fluxo de Resíduos através das Estações de Transferência no município do Rio de Janeiro

Fonte: CICLUS, 2016.

A construção da CTR-Rio, assim como das estações de transferência, tiveram como principal incentivo, além da PNRS e do Programa Lixo Zero, o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro, que na verdade foi construído antes mesmo da Lei Federal. A exigência de elaboração do Plano surgiu com a edição da Lei Municipal nº 4.969, de 03/12/2008, que dispõe sobre objetivos, instrumentos, princípios e diretrizes para a gestão integrada de resíduos sólidos no âmbito do município do Rio de Janeiro, estabelecendo que cabe ao município elaborar o seu plano de gestão integrada (PREFEITURA DO RIO, 2012).

Segundo o diagnóstico realizado pela Prefeitura do Rio (2012), tal plano possui como principais objetivos:

- Proteger a saúde pública e qualidade do meio ambiente;
- Incentivar a coleta seletiva, a reutilização e a reciclagem, garantindo a redução da geração de resíduos sólidos;

- Garantir a adequada disposição final dos resíduos mediante utilização de técnicas ambientalmente sustentáveis e propiciadoras do aproveitamento de energia;
- Definir o papel do setor privado e da sociedade civil na gestão dos resíduos sólidos, assim como suas responsabilidades;
- Promover o desenvolvimento sustentável gerando benefícios sociais;
- Criar mecanismos de geração de trabalho e renda, promovendo a inclusão social dos catadores de materiais recicláveis;
- Incentivar as parcerias do governo com organizações

Ainda sobre o Plano, é interessante destacar algumas políticas adotadas visando a redução, a reutilização e a coleta seletiva. Pensando nos resíduos da construção civil, a estratégia utilizada consiste no reaproveitamento dos mesmos na pavimentação das pistas e praças de operação do aterro, no recobrimento dos resíduos dispostos, no nivelamento e na conservação de suas vias de acesso. Desta forma, observa-se um menor impacto ambiental e uma economia de recursos naturais (PREFEITURA DO RIO, 2012).

Na ETR Caju existe uma usina de reciclagem, e a COMLURB produz composto orgânico a partir da fração orgânica do lixo proveniente desta usina. Este produto vem sendo largamente empregado nas ações de reflorestamento na cidade, dentro do Programa de Reflorestamento e Preservação de Encostas do Município, e o restante é comercializado (PREFEITURA DO RIO, 2012).

Outro exemplo de política adotada a partir do Plano em questão diz respeito ao sistema de coleta seletiva de materiais recicláveis que, segundo a Prefeitura do Rio (2012), atingiu 7.797 toneladas em 2011, realizando porta a porta a coleta em 41 dentre os 160 bairros do município. Esses recicláveis são encaminhados a cooperativas e associações de catadores cadastrada pelo município, que fazem a triagem e a segregação dos diversos tipos de materiais recicláveis, comercializando-os.

Apesar dos avanços observados e da diminuição considerável do número de lixões após a implementação do programa Lixo Zero e da PNRS, outro ponto importante a ser abordado em relação à cidade do Rio de Janeiro é o aumento do

número de depósitos clandestinos criados nas comunidades da metrópole. Lixões verticais nas encostas dos morros são encontrados com facilidade, o que constitui um perigoso cenário, visto que esses pequenos lixões são formados em áreas íngremes e à beira de rios, córregos e lagoas, e em comunidades planas. Ou seja, apesar da diminuição do número de lixões, outras formas de disposição irregular surgem, tornando o possível avanço que tenha sido observado na cidade em relação ao gerenciamento dos resíduos menos perceptível.

A principal organização responsável pela coleta dos resíduos urbanos na cidade do Rio de Janeiro é a já citada Comlurb, que nada mais é que uma sociedade anônima de economia mista que tem a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro como acionista majoritária (COMLURB, 2016). A Comlurb possui empresas credenciadas para a remoção dos resíduos sólidos, a fim de atender a maior quantidade de lugares possíveis. Desta forma, ocorre o cadastro das empresas interessadas em se credenciar e, se elas atenderem às exigências da Comlurb, elas passarão a receber uma remuneração compatível ao peso e a periculosidade da carga transportada até os aterros.

A cidade do Rio de Janeiro ainda não possui nenhuma tecnologia avançada quando se trata do aproveitamento direto do potencial energético que os resíduos sólidos urbanos possuem. Porém, em relação ao reaproveitamento indireto, existe, como já mencionado, a captação de biogás na CTR Rio, e, além disso, pode-se mencionar a usina de biogás inaugurada em 2000 no aterro de Gramacho. Tal usina, segundo informações do Governo do Rio de Janeiro, constitui o maior projeto de redução de emissão de gases de efeito estufa no Brasil. Em toda a superfície do aterro, cerca de 230 poços de captação foram construídos para que o biogás produzido possa ser consolidado e transportado através de gasodutos para sua destinação final (PREFEITURA DO RIO, 2012).

Em vista do que foi apresentado, pode-se perceber que existe ainda a oportunidade de implementação de novas tecnologias de reutilização de resíduos na cidade do Rio de Janeiro, que devem ser planejadas pensando em agregar valor à gestão do lixo, para que a quantidade de RSU destinados a locais clandestinos e ambientalmente desfavoráveis seja cada vez menor.

4. Estudo de caso da implantação de uma unidade de gaseificação de resíduos urbanos no Rio de Janeiro

Após uma análise da situação atual da cidade do Rio de Janeiro em relação a sua geração de resíduos sólidos urbanos e seu gerenciamento, observa-se uma oportunidade no que concerne o seu aproveitamento. Como já explicitado, o foco deste trabalho consiste em avaliar as questões logísticas relacionadas à implementação no Rio de Janeiro de uma planta de gaseificação seguindo o modelo da Enerkem para a produção de etanol e/ou outros produtos químicos. Desta forma, os resíduos orgânicos tornam-se uma matéria-prima passível de ser transformada em um produto de maior alto valor agregado, ao mesmo tempo que trazendo uma solução para a questão do lixo.

Seguindo o que já foi descrito anteriormente, a Enerkem já opera uma unidade em escala comercial fora do Brasil, ou seja, há indícios de que o processo é viável. Assim, pensando nos incentivos de Leis e Planos que regem a cidade do Rio de Janeiro quanto à reutilização dos resíduos, a ideia de implementar uma planta seguindo os moldes de uma já existente, a princípio, parece ser uma ideia viável. Porém, para ratificar tal informação, deve-se analisar as questões legais para analisar se a implementação condiz com as mesmas.

A PNRS, o programa Lixo Zero e o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro já citados anteriormente prezam pela reutilização dos resíduos sólidos urbanos a fim de diminuir a disposição dos mesmos em lugares impróprios e induzir uma redução do número de resíduos gerados. Sabe-se que o processo utilizado pela Enerkem, além de utilizar os resíduos como matéria-prima, ainda pode ser relacionada à diminuição da emissão de gases do efeito estufa no que diz respeito ao aproveitamento do poder calorífero do gás de síntese, produto da gaseificação. Desta forma, nenhum entrave legal relacionado à questão ambiental é encontrado.

Partindo então do pressuposto que haveria permissão legal para operação da planta no local escolhido, faz-se necessário pensar a respeito das parcerias que devem ser formadas a fim de viabilizar o projeto. A implementação requer um

investimento inicial alto, com valores acima de 100 milhões de dólares⁷, e por isso tais parcerias são essenciais. Além disso, parceiros são importantes para auxiliar na estrutura da cadeia produtiva. Desta forma, a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro e o Governo do Estado do Rio de Janeiro deveriam ser os primeiros a serem procurados para tornarem-se investidores e parceiros.

Para a Prefeitura e para o Governo do Estado, tal projeto é interessante pois cria uma vantagem tecnológica do Rio de Janeiro frente aos outros estados brasileiros, já que nenhuma tecnologia desse estilo foi implementada no Brasil. Além disso, um grande avanço no que diz respeito à gestão de resíduos será observada, possibilitando a criação de um sentimento de satisfação da população, que entenderá o investimento como uma ação que demonstra a preocupação do Estado frente à situação atual dos resíduos sólidos. Essa percepção pode auxiliar a conscientização da população quanto aos resíduos que ela produz e às ações que ela toma.

Encarar a proposta de implementação da planta como uma ação que irá somar às políticas já praticadas no Rio de Janeiro é importante. Da mesma forma, em Edmonton (Canadá) a construção da planta agregou valor ao processo de gerenciamento dos resíduos. Esse entendimento é importante para a captação de investimentos de empresas que já estão envolvidas com a gestão dos resíduos sólidos urbanos no Rio de Janeiro.

A análise a seguir será estruturada a fim de verificar a viabilidade da implementação no Rio de Janeiro da estrutura utilizada no Enerkem Alberta Fuels sob a ótica dos aspectos logísticos. Assim, um estudo de uma possível localização para a planta será realizado, levando em consideração a capacidade produtiva da planta, a necessidade ou não de um estoque, além da melhor maneira de se garantir que a matéria-prima chegue ao local escolhido.

⁷ Este foi o valor no Canadá. Há de se considerar um fator de nacionalização tratando-se do Brasil, o que resultará em um aumento no valor do investimento.

4.1. Localização

Determinar a localização de uma planta que necessita manter um estoque de lixo, possui complicações devido aos cuidados necessários que tal matéria-prima exige. Se não forem armazenados corretamente, os resíduos podem atrair vetores de doenças, bichos, além dos gases tóxicos liberados e do odor desagradável. Ou seja, deve-se tomar o cuidado de escolher um local cuja distância da área residencial da cidade é maximizada, a fim de preservar as condições salubres de vida da população.

Uma alternativa inteligente para driblar todas as dificuldades referentes ao lixo no que diz respeito à sua localização, é aproveitar as instalações já existentes utilizadas como destinação dos mesmos. Seguindo esta ideia, deve-se assegurar de que se está falando de uma instalação que seguiu todas as questões legais referentes à sua localização. Após essa conferência, analisar se o projeto em questão agrega valor ao local é importante para que a instalação apresente vantagens dos dois lados: para a detentora da tecnologia, a oportunidade de usufruir de uma infraestrutura já montada; para o local escolhido, a chance de ser valorizado a partir da implementação de uma tecnologia já consolidada, porém ainda não aplicada no Rio de Janeiro.

Seguindo essas premissas, duas localizações seriam possíveis: uma ETR ou a própria CTR Rio. Localizar a planta em uma das sete ETRs existentes traria como principal benefício a diminuição do percurso que os resíduos utilizados na planta deveriam percorrer. Desta forma, poderia-se observar até uma diminuição na quantidade diária de resíduos levada a CTR Rio, observando assim uma possível diminuição dos custos relacionados ao transporte. Entretanto, o que impede esta ideia de ser aceita é o tamanho das ETRs, já que as mesmas foram projetadas no meio do município do Rio de Janeiro. Além disso, a própria localização das mesmas pode trazer obstáculos quando se pensa na implementação de uma planta em locais próximos à moradias.

Desta forma, o Centro de Tratamento de Resíduos de Seropédica citado na descrição da atual situação do Rio de Janeiro se apresenta como boa alternativa para servir de local para a implementação da planta de gaseificação. Por se tratar

de uma instalação nova e de projetos grandes, a CTR Rio (também conhecida como CTR Santa Rosa) possui uma infraestrutura muito bem planejada, com sua própria logística de resíduos já montada. Tentar inserir a planta de gaseificação neste cenário parece ser algo conveniente economicamente.

Focando na planta de gaseificação e nas melhorias voltadas para ela com a escolha da localização, estar situada no CTR Rio abre espaço para a planta moldar sua gestão de transportes baseando-se na estrutura já existente, ou até mesmo utilizando-a. Como consequência, pensa-se na utilização da malha de transportes já determinada para a transferência de resíduos para as CTRs, pois trata-se da mesma matéria-prima, não havendo necessidade de se construir um novo projeto de coleta e reabastecimento, e sim apenas adaptar o já existente para atender as necessidades da planta.

Desta forma, ratifica-se que localizar a planta de gaseificação no espaço físico da CTR Rio, que recebe os resíduos sólidos urbanos provenientes do município do Rio de Janeiro é uma opção válida. A partir dessa opção, a fim de ratificar se a mesma é viável ou não, deve-se analisar as características que envolvem a infraestrutura da CTR-Rio e do projeto em questão.

A CTR Rio possui 2.205.000 m² e 18 anos de vida útil. O local possui vida útil pois, como apresentado na descrição da situação atual do Rio de Janeiro, o aproveitamento dos resíduos sólidos se dá unicamente através do biogás proveniente da digestão anaeróbica, ou seja, os resíduos, mesmo decompostos, continuarão sendo resíduos e ocuparão o espaço físico no aterro de maneira permanente. Desta forma, a planta de gaseificação produzirá mais benefícios à CTR-Rio, à medida em que irá utilizar diretamente os resíduos, conseguindo diminuir o seu volume e, conseqüentemente, aumentar a vida útil da CTR Seropédica.

Para auxiliar na visualização do local da unidade industrial, é válido observar o mesmo a partir de um planejamento de layout com a vista superior de toda a área, conforme apresentado na figura 15. É importante destacar que, na figura 15, a instalação proposta está descrita como “gaseificação”, porém não se trata somente do gaseificador em si, e sim de um sistema que envolve também a

triagem e o pré-tratamento que a matéria-prima deve receber, da mesma maneira que ocorre na Alberta Enerkem Fuels.



Figura 15 - Layout da área que corresponde à CTR-Rio

Fonte: CICLUS, 2016

A figura 15 mostra toda a área que constitui o CTR-Rio, com seus aterros, estação de tratamento de chorume e já com a localização proposta da planta de gaseificação. A área reservada para a Ciclus compreende a que está no interior da linha verde clara. Fora dela, parte da área das redondezas é de proteção ambiental, então para não correr riscos quanto à questão ambiental, optou-se por aproveitar um espaço disponível dentro dos limites da CTR-Rio.

Ainda observando a figura 15, e sabendo que a CTR-Rio possui uma área total de 2.205.000 m², com os dados obtidos a partir de Schubert (2014), consegue-

se estimar que a área necessária para implementação do sistema já aplicado em Edmonton é de 60.000 m², o que corresponde a 3% da área total da CRT-Rio.

4.2. Entraves logísticos

Levando em consideração o que foi descrito na revisão bibliográfica, este tópico analisa dois conceitos logísticos importantes para o sucesso de qualquer projeto. É importante destacar que nenhuma decisão é tomada separadamente, e desta forma, na discussão sobre a localização já deve se levar em conta as melhores decisões quanto ao estoque e ao transporte.

Assim, antes de iniciar as discussões das questões referentes ao estoque, ao transporte e aos custos a eles relacionados, a fim de se obter um maior entendimento quanto ao processo sugerido, a figura 16 servirá como ilustração, mostrando nos quadros azuis as novas etapas propostas para a implementação na CTR Rio e para a adequação da tecnologia na gestão já existente.

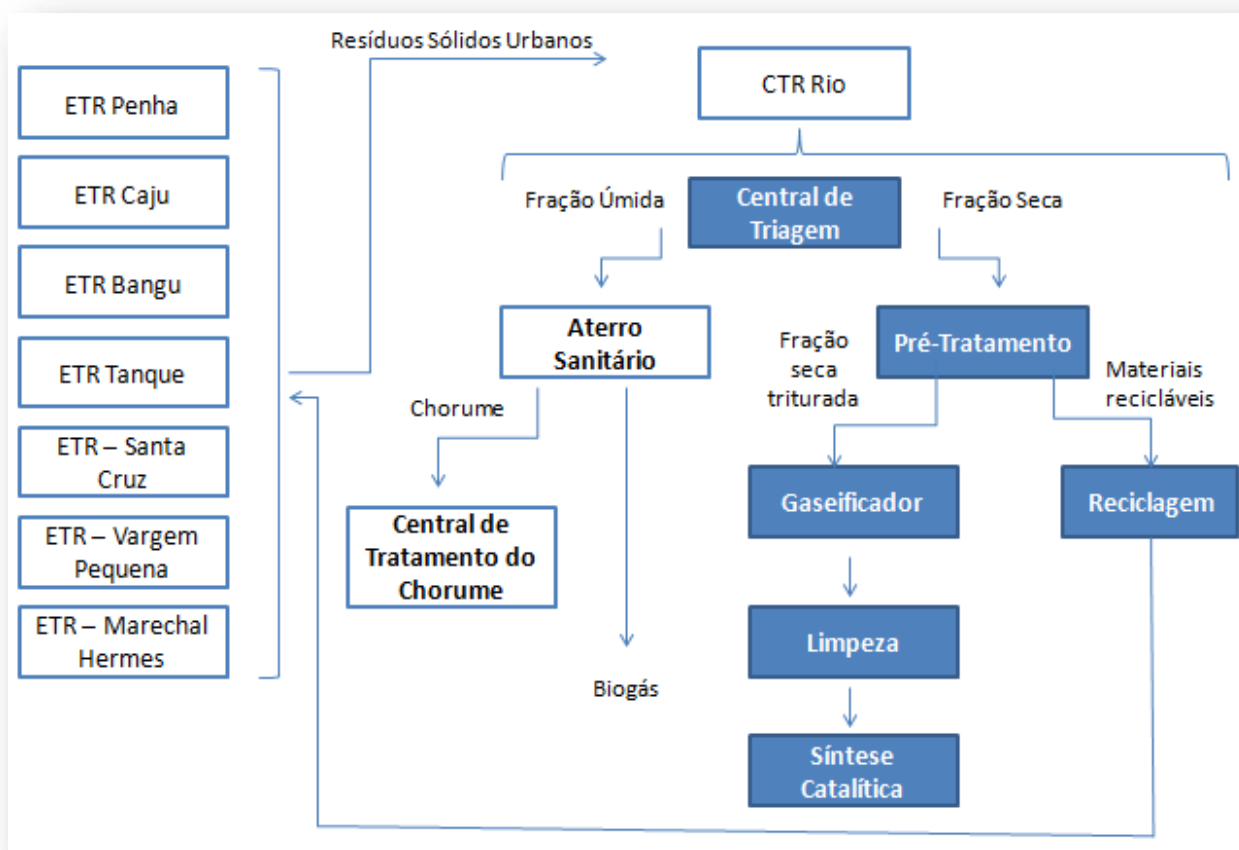


Figura 16 - Processo proposto

Elaboração própria

É importante destacar que, além da implementação do processo de gaseificação, do seu pré-tratamento e do seu pós-tratamento que se fazem necessários, a figura 16 mostra a oportunidade de, ainda no pré-tratamento da matéria-prima, ocorrer uma separação dos materiais recicláveis, propondo o retorno dos mesmos para as ETRs para que cada material seja vendido para suas respectivas empresas de recicláveis. Tal separação pode ser realizada por associações de catadores, visando a geração de emprego regularizado. Tendo em vista que, sem considerar a proposta, a separação de recicláveis ocorre somente nas ETRs por catadores, o fluxograma mostrado proporcionaria não só um aumento no reaproveitamento dos resíduos devido à gaseificação, como também um aumento no volume de reciclados no Rio de Janeiro.

4.2.1. Questões relacionadas ao estoque

É sabido que a matéria-prima utilizada neste projeto é o lixo, e que este possui características peculiares quando ocupa tal papel na cadeia de suprimentos. Ele não é produzido com o intuito de ser utilizado para a produção de biocombustíveis ou outros produtos; ele é um resíduo, é um produto do consumo humano e irá existir sempre que houver atividade humana, independente de ser utilizado posteriormente ou não.

Desta forma, quando se pensa em gestão de estoques, pode-se dizer que não é necessário se preocupar em construir grandes estoques para se prevenir quanto à variações na produção. Entretanto, é de extrema importância considerar a manutenção de um estoque de segurança pensando em garantir matéria-prima, a fim de lidar com possíveis variações do volume coletado de resíduos, ou até mesmo das diferenças na composição granulométrica dos mesmos.

Ainda observando a figura 16, é possível ter uma visão geral do processo e, desta forma, entender exatamente o que está sendo proposto e onde é necessário se construir um estoque. Neste sentido, pensando na garantia de que não faltará matéria-prima mesmo se a coleta ou a gravimetria dos resíduos sofrerem flutuações, deve-se construir um estoque de fração seca no pré-tratamento.

A escolha da construção de um estoque no pré-tratamento é fundamentada no fato de que, caso o estoque fosse construído na central de triagem, por exemplo, o mesmo seria constituído de resíduos recicláveis, que não farão parte do processo de gaseificação, já que serão separados e enviados para as ETRs. Desta forma, a fim de garantir que o estoque seja formado apenas pela matéria-prima do gaseificador, o mesmo será construído após a separação dos materiais recicláveis na etapa do pré-tratamento.

Tendo isso em mente, deve-se calcular o tamanho necessário desse estoque de segurança a partir da capacidade produtiva da planta, que é o fator limitante do processo. Para tal, pensa-se em ter estocado a quantidade correspondente a necessidade de um mês de funcionamento da planta, que é um valor bastante praticado em outras empresas quando se pensa em estoque de segurança.

Sabendo que, operando a potência máxima o gaseificador consegue converter 100.000 toneladas secas de resíduos por ano, pode-se utilizar as definições explicitadas na revisão bibliográfica para mostrar o cálculo estimado do volume estoque de segurança através da figura 17.

O cálculo do estoque de segurança é apenas uma estimativa, sem levar em consideração todos os fatores que realmente influenciam em um cálculo preciso. Para tal, a estimativa do tamanho desse estoque foi calculada utilizando-se o bom senso. Sabe-se que diariamente os resíduos coletados na cidade do Rio de Janeiro são levados até a CTR Rio. Ao assumir a necessidade de um estoque de segurança, presume-se que há o risco desses resíduos não chegarem até à CTR Rio, ou dos resíduos que forem levados para lá não possuírem as características necessárias para o processo. Ambas alternativas acarretariam a falta de matéria-prima para a planta do gaseificador.

Acontece que, focando na alternativa que assume que os resíduos podem não chegar ao CTR Rio, pode-se dizer que isso aconteceria devido a não coleta dos resíduos por motivo de greve dos funcionários da Comlurb, por exemplo. Pensar na cidade do Rio de Janeiro sem coleta de resíduos por mais de uma semana, é pensar em uma situação de calamidade pública, devido ao alto volume de resíduos gerados diariamente. Por isso, para o cálculo do estoque de segurança, estimou-se a quantidade equivalente a uma semana de funcionamento da planta, acreditando ser um valor razoável e coerente.

Cálculo do estoque de segurança do pré-tratamento:

- ✓ Estoque de segurança proposto equivale a uma semana de funcionamento da planta
- ✓ Quantidade anual de fração seca de resíduos utilizada pela planta = 100.000 ton
- ✓ Quantidade semanal de fração seca de resíduos utilizada pela planta = $100.000/52 = 1923$ ton



Estoque de segurança = 1.923 toneladas de fração seca

Figura 17 - Estoque de Segurança

Elaboração Própria

É importante ressaltar que, por se tratar de uma matéria-prima abundante e produzida diariamente pela população, irá se trabalhar com estoque mínimo, ou seja, somente o estoque de segurança existirá. A operação terá um caráter contínuo, visto que diariamente os resíduos são levados ao CTR-Rio. Assim, pensando nos fatores importantes do planejamento do estoque da planta, considerando o que foi proposto no tópico de gestão de estoques da revisão bibliográfica, a decisão entre ter um estoque grande ou um estoque pequeno foi tomada a partir do conhecimento prévio da gestão de transportes da CTR Rio, já que a concepção de grande e pequeno diz respeito à relação que o mesmo tem com o número de vezes que o reabastecimento se faz necessário.

4.2.2. Questões relacionadas ao transporte

Como mencionado na descrição da situação atual do Rio de Janeiro em relação aos seus resíduos, é notável a importância da COMLURB no que diz respeito à coleta dos mesmos. Sabe-se que ela é a empresa responsável por realizar o transporte dos resíduos cariocas até a CTR-Rio, com a ajuda das empresas a ela credenciadas. Além disso, a COMLURB atua também nas ETRs

viabilizando as políticas do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro, como já citado.

Desta forma, a proposta deste trabalho utiliza o modal rodoviário na gestão de transporte, devido ao fato de ser o disponível para atender a localização escolhida. Pensando na complexidade que envolve a distribuição demográfica da cidade do Rio de Janeiro, pode-se imaginar a quantidade de locais onde o modal escolhido deve alcançar com uma grande frequência: o modal que apresenta maior disponibilidade devido à quantidade de locais que conecta é a malha rodoviária. Além disso, o modal rodoviário foi escolhido por já existir uma gestão de transportes montada com esse modal para garantir que os resíduos sólidos urbanos cheguem até a CTR Rio.

O processo referente ao transporte já existente, e que será aproveitado na proposta de implementação, consiste na coleta diária dos resíduos sólidos urbanos a partir de caminhões que comportam até 7 toneladas de resíduos. Dependendo da área de coleta, cada caminhão é levado a uma Estação de Transferência correspondente, para que lá ocorra a consolidação da carga em carretas que suportam 30 toneladas de resíduos sólidos. Desta forma, a partir da figura 14 já apresentada, pode-se calcular a quantidade de carretas que sai diariamente de cada ETRs, assim como a quantidade total de carretas que chegam diariamente na CTR Rio. Os resultados foram apresentados na figura 18.

ETR	Quantidade coletada (ton/dia)	Capacidade Carreta (ton)	Carretas enviadas para CTR Rio
Santa Cruz	1.094	30	37
Bangu	1.832	30	62
Jacarepaguá	729	30	25
Taquara	729	30	25
Marechal Hermes	729	30	25
Penha	1.458	30	49
Caju	3.281	30	110
Total	9.852		333

Figura 18 - Tabela com a quantidade de carretas necessárias por dia

Elaboração Própria

Analisando a figura 21 percebe-se que o número de recebimentos que ocorre na CTR Rio por dia é extremamente alto, e tal fato carece de uma atenção especial. No cenário atual, as carretas, quando chegam em Seropédica, após serem pesadas, vão diretamente para os aterros a fim de depositarem sua carga. Entretanto, como a proposta desse trabalho induz a separação dos resíduos para que uma parte deles seja reaproveitada na gaseificação e outra retorne para ser reciclada, se faz necessário que os caminhões despejem sua carga na central de triagem.

Desta forma, com 333 recebimentos por dia, a central de triagem deverá ter seu número de docas planejado. Considerando que o transporte seja contínuo e que o mesmo opere 24 horas por dia, e estimando que cada carreta levaria 30 minutos para descarregar os resíduos na central de triagem, tem-se que 48 carretas conseguiriam descarregar os resíduos por dia, por doca. Para absorver as 333 carretas, 7 docas são necessárias. Seguindo a proposta de implementação, deve-se pensar também na instalação onde se dará o pré-tratamento, pois os caminhões deverão recolher os materiais recicláveis lá separados. Desta maneira, os caminhões seguirão o fluxo apresentado na figura 19, que mostra inclusive o que os caminhões estão transportando nos diferentes momentos. No próximo tópico, serão realizadas algumas discussões e análises para que seja possível simular e dizer quantos caminhões terão que realizar realmente o percurso mostrado na figura 19,

pois dependendo do volume de resíduos recicláveis que for separado, pode-se otimizar o processo determinando um número específico de caminhões para a coleta destes. Os outros, só deixarão os resíduos na central de triagem e já voltarão para a ETR de origem.



Figura 19 - Fluxo do transporte

Elaboração própria

Assim, a proposta deste trabalho em relação à gestão de transportes consiste na continuação da parceria entre a Comlurb e com a CTR Rio, a fim de usufruir da frota que já transporta os resíduos até a central de tratamento.

Para melhor entendimento, o tópico a seguir analisa algumas questões importantes para a validação do projeto.

4.2.3. Discussão

Após a descrição do cenário logístico para a implementação da planta de gaseificação, alguns pontos precisam ser discutidos e analisados para que se possa tirar as devidas conclusões sobre a proposta deste trabalho. Entender como tal

implementação impactará o CTR Rio é importante para ratificar a viabilidade do mesmo.

Foi dito anteriormente que o CTR Rio possui uma vida útil de 18 anos, e que, com o aproveitamento de parte dos resíduos que seriam depositados no aterro, o mesmo levaria mais tempo para atingir sua capacidade máxima, ou seja, seu tempo de vida seria maior. Por isso, com o objetivo de verificar se a implementação da planta de gaseificação na CTR-Rio realmente irá impactar a vida útil do local, a figura 20 mostra o cálculo da capacidade de armazenamento de resíduos do aterro da CTR-Rio.

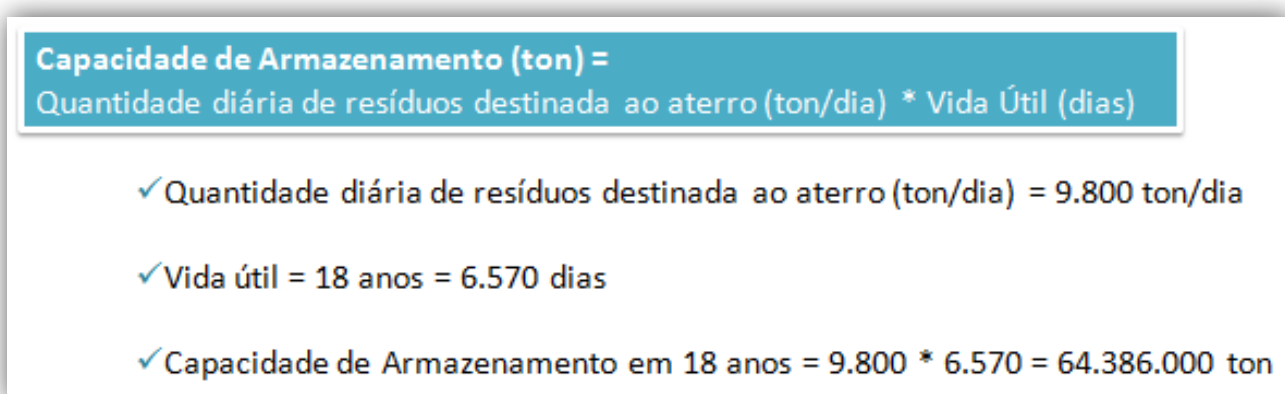


Figura 20 - Capacidade de Armazenamento CTR-Rio

Elaboração própria

Buscando ratificar essa vantagem da implementação para o aterro, a figura 21 inicia os cálculos, que, para estarem mais próximos da realidade, deverão considerar o reaproveitamento mensal de parte dos resíduos somente a partir de uma data futura, que seria a data de início do funcionamento da planta. Desta forma, a figura 21 parte do princípio de que a planta poderia estar em operação já em 2018, e mostra o cenário da CTR Rio antes disso.

✓ Capacidade de Armazenamento em 18 anos = 64.386.000 ton

✓ Quantidade mensal de resíduos destinada ao aterro =
 $9.800 * 30 = 294.000$ ton

Sabendo que a CTR Rio foi inaugurada em 2010, e supondo que a planta de gaseificação inicie sua operação em 2018:

✓ De 2010 à 2017: 8 anos com o CTR Rio recebendo 294.000 resíduos/mês →
Total recebido nos 8 anos = 28.224.000

✓ Em 2018, a quantidade correspondente ao espaço livre do aterro é:
 $64.386.000 - 28.224.000 = 36.162.000$

Figura 21 – Cenário CTR-Rio antes da implementação da planta

Elaboração Própria

Dando prosseguimento aos cálculos, a figura 22 mostra o cenário a partir de 2018, ano que foi escolhido para a implementação da planta de gaseificação na CTR Rio. Assim, a figura relaciona a quantidade de resíduos destinada ao aterro com a quantidade desse resíduo que será utilizada na planta, mostrando o quanto isso impactará na vida útil do local. Para tal, é importante considerar primeiramente uma informação importante descrita anteriormente na seção da Enerkem: a informação referente à capacidade produtiva da planta, que diz que anualmente, a planta consegue processar 100.000 toneladas secas de resíduos.

- ✓ Quantidade correspondente ao espaço livre do aterro : 36.162.000 ton
- ✓ A partir de 2018, o cenário mensal será:
 - ✓ Entrada de resíduos na CTR Rio: $9.800 * 30 = 294.000$ ton
 - ✓ Reaproveitamento dos resíduos: $100.000 / 12 = 8.334$ ton
 - ✓ Quantidade de resíduos que vão para o aterro:
 $294.000 - 8.334 = 285.666$ ton
 - ✓ Tempo que o aterro durará a partir de 2018:
 $36.162.000 / 285.666 = 126,6$ meses = 10,6 anos
 - ✓ Vida útil com a implementação da planta:
 8 anos + $10,6$ anos = $18,6$ anos = 18 anos e 7 meses

Figura 22 - Cálculo da nova vida útil da CTR Rio

Elaboração Própria

Desta forma, percebe-se que a vida útil da CTR-Rio com a implementação da planta de gaseificação proposta será de 18 anos e 7 meses, configurando um aumento que não é muito significativo neste parâmetro. Entretanto, é importante ressaltar que este aumento da vida útil não é a principal motivação para a implementação da planta, e sim só mais uma possível vantagem da mesma. Além disso, deve-se ressaltar que no cálculo apresentado, foi considerada a capacidade produtiva que a planta da Enerkem possui no Canadá, visto que o objetivo inicial do trabalho era propor a implementação de uma planta nos mesmos moldes de uma já existente. Assim, a capacidade produtiva da planta não está adequada ao cenário carioca, já que foi construída para atender as necessidades da cidade de Edmonton.

Dando prosseguimento à análise de parâmetros que mostrem como a planta impactará no CTR Rio, pode-se calcular a porcentagem de resíduos que a mesma utilizará como matéria-prima. Relacionando a quantidade coletada diariamente e levada até o CTR Rio com o estoque calculado respeitando a capacidade de produção, tem-se a partir da figura 23 o cálculo da porcentagem aproveitada dos resíduos secos. Para tal, deve-se levar em consideração que, a

partir da figura 12 e dos dados já apresentados, a parcela que corresponde aos resíduos secos equivale a 46,36% e que 4% destes não chegam a ser enviados para a CTR Rio, pois já nas ETRs são separados para a reciclagem.

- ✓ Quantidade mensal de fração seca de resíduos utilizada pela planta = 8.334 ton
- ✓ Quantidade de resíduo seco levado ao CTR Rio no mês =
 $9.800 * 30 * (46,36\% - 4\%) = 124.538 \text{ ton}$
- ✓ % de resíduos secos aproveitados na gaseificação =
 $8.334 / 124.538 = 7\%$

Figura 23 - Aproveitamento

Elaboração Própria

Desta forma, observa-se que a planta de gaseificação, seguindo a escala e capacidade produtiva da que já foi implementada em Edmonton, consegue recuperar apenas 7% dos resíduos secos que não são reciclados no Rio de Janeiro e que, por isso, seriam destinados ao aterro sanitário, enquanto esse aproveitamento em Edmonton chega a 40%.

É evidente que as duas análises mostradas acima foram realizadas sem considerar a parcela de resíduos recicláveis que podem voltar para as ETRs e serem reutilizados. Considerando que a separação desses resíduos será realizada por catadores, e que o mesmo cenário ocorre nas ETRs onde o volume reciclado é baixo, é prudente estimar que haverá a separação de aproximadamente 4% dos resíduos secos levados ao CTR Rio. Assim, somando o aproveitamento da planta com a da reciclagem, tem-se que 11% dos resíduos sofrerão algum tipo de reutilização e, por isso, não irão para o aterro.

Pensando qualitativamente nos custos logísticos que tal implementação implicará, pode-se dizer que a escolha da localização da planta auxilia a tentativa de minimizá-los, porém eles ainda estarão presentes. Pensando nos custos relacionados ao estoque, sabendo que o material estocado em questão é o lixo,

pode-se dizer que tais custos são bem baixos, visto que não é muito comum associar os resíduos estocados à ideia de capital parado. Entretanto, se pensarmos que o estoque poderia estar sendo utilizado em outra técnica de aproveitamento para, por exemplo, a produção de combustível ou energia, essa associação ocorre.

No cenário proposto, pode-se dizer que os custos de armazenagem são mais significativos que os custos de estoque. Tal fato pode ser justificado se o local de pré-tratamento for considerado o local de armazenagem. Desta forma, o aluguel da área ocupada pela instalação estará atrelada à esse custo. Além disso, pode-se considerar que os catadores que ali irão trabalhar para a separação dos resíduos recicláveis e daqueles que irão para o gaseificador são a mão-de-obra do armazém, compondo mais uma parcela deste custo.

Pensando agora naquele que é, usualmente, o custo mais relevante dentre os custos logísticos, pode-se dizer que, no presente trabalho, o mesmo mantém sua importância frente às outras parcelas que compõem o custo total. Acerca do custo de transporte, é certo afirmar que o mesmo é extremamente alto, visto que a frequência de utilização do mesmo é extremamente grande. Em contrapartida, é coerente dizer que o fato das carretas serem transportadas com sua carga máxima auxilia na diluição do custo fixo cobrado por caminhão. Entretanto, tal consolidação não é suficiente para compensar o custo diário de 333 carretas.

Outro ponto importante que deve ser considerado, é a utilização dos caminhões que levam os resíduos até à CTR Rio, fazendo com que os mesmos voltem as ETRs levando os recicláveis que foram separados. Tal aproveitamento do transporte é importante e vantajoso, visto que o percurso da CTR Rio até as ETRs já seria realizado de qualquer maneira. Porém, é válido ressaltar que, como o volume diário separado de resíduos recicláveis é menor do que 30 toneladas, apenas um caminhão terá que realizar o percurso descrito na figura 23. Todos os outros poderão descarregar sua carga na central de triagem, e depois já voltarem para suas respectivas ETRs.

Assim, a partir dos aspectos logísticos discutidos, quando se pensa em possíveis entraves logísticos, observa-se que, com esta primeira análise, não se pode atribuir à logística como um obstáculo para a implementação da planta.

5. Conclusão

Tendo em vista o que foi mencionado, é válido ressaltar a oportunidade que a cidade do Rio de Janeiro possui quanto à implementação proposta. Por se tratar de uma tecnologia ainda não utilizada com resíduos sólidos urbanos no Brasil, o projeto possui um caráter agregador e inovador, visando a utilização do poder calorífero dos resíduos para a obtenção de produtos com maior valor agregado e para propor uma solução para a questão do lixo, estando esta tão presente na metrópole do Rio de Janeiro.

Desta forma, pode-se pensar que a implementação da planta de gaseificação na Central de Tratamento de Resíduos de Seropédica irá valorizar o local, já que o mesmo contará com uma possibilidade de reutilização dos resíduos, além do aproveitamento do biogás já existente. Tal valorização poderá atrair a atenção de investidores à área, possibilitando um progresso acelerado no que diz respeito à manutenção e até mesmo melhorias no local.

Pensando ainda nas vantagens que tal localização proporcionará, além do valor agregado adicionado ao CTR Rio, o pequeno aumento da vida útil do local deve ser evidenciado, pois quanto mais tempo o aterro tiver de vida útil, mais rentável é o investimento nele realizado.

Em contrapartida, observando as vantagens que afetam a detentora do modelo de planta previsto para a implementação, tem-se a possibilidade de usufruir da infraestrutura já existente em Seropédica, principalmente no que diz respeito ao transporte. Além disso, estar situada em uma central de tratamento de resíduos já estruturada do ponto de vista logístico, facilita sua implementação, a começar pelo fato da CTR Rio já ter uma gestão montada a partir da mesma matéria-prima.

O cálculo que mostra que a implementação, juntamente com a separação dos recicláveis reutilizaria somente 11% dos resíduos secos, não deve ser visto como um obstáculo para a aceitação da proposta. Mais do que propor uma nova forma de reutilização dos resíduos, o projeto visa colocar em foco a questão do lixo,

a fim de proporcionar discussões e impulsionar novas soluções para o reaproveitamento do alto poder calorífero desperdiçado.

O trabalho apresentado cumpriu com todos os objetivos propostos, na medida em que discutiu e propôs soluções relacionadas aos aspectos logísticos relacionados à implementação do projeto. Visando possíveis estudos futuros, o próximo passo seria a análise da possibilidade de expansão da planta, a fim de implementá-la em maior escala para que o seu efeito sobre os resíduos gerados na cidade do Rio de Janeiro fossem mais significativos.

É importante ressaltar também, que a proposta teve como objetivo trazer a tecnologia de gaseificação para o Rio de Janeiro. Para tal, utilizar como molde uma planta já existente facilitaria o estudo de caso. Porém, possíveis reavaliações do tamanho e da capacidade produtiva da planta são possíveis de acontecer, visto que a planta em Alberta foi projetada para atender as necessidades de tal lugar.

Apesar dos resultados positivos encontrados para a implementação, percebe-se que ela sozinha não é a solução para a questão do lixo gerado na cidade do Rio de Janeiro. Pensar em uma solução definitiva é pensar na conscientização da população, com a criação de uma cultura que preze pela responsabilidade de cada indivíduo perante o lixo que produz. Desta maneira, seria possível iniciar um processo de minimização da quantidade produzida, o que só traria benefícios para a população e para o meio ambiente.

Propor novas alternativas para o aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos é um ponto de partida para esta longa trajetória, pois busca enobrecer algo que é tão mal visto pela população. Aos poucos, espera-se obter modelos de gerenciamento de resíduos cada vez mais robustos, aproveitando as propriedades e características dos resíduos e, ao mesmo tempo, estimulando a diminuição da produção do mesmo.

6. Referências Bibliográficas

- ABNT. *NBR 8419 – Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos*. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro, 1992.
- ABRELPE (2016). CTR Santa Rosa: Estado do Rio de Janeiro. Acesso em 20 de fevereiro de 2016, disponível em: <http://www.abrelpe.org.br>
- AI – EES. *About us – our mandate*. Alberta Innovates Energy and Environment Solutions. Acesso em 20 de fevereiro de 2016, disponível em: <http://www.ai-ees.ca/about-us.aspx>.
- ALBERTA. *Waste Control Regulation*, 1996. Acesso em 23 de Fevereiro de 2016, disponível em http://www.qp.alberta.ca/documents/Regs/1996_192.pdf
- BALLOU, Ronald H. *Gerenciamento da cadeia de suprimentos/ Logística empresarial*. Porto Alegre: Bookman, 5.ed., 2006.
- BALLOU, Ronald H. *Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física*. São Paulo: Ed. Atlas, 1993.
- BANCO MUNDIAL (2014). *Connecting to Compete – Trade Logistics in the Global Economy*, 2014.
- BRASIL (2010). *Lei nº 12.305*, Casa Civil, Brasil, 2010. Acesso em 23 de Janeiro de 2016, disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm
- BRASIL (2012). *Resíduos sólidos: manual de boas práticas no planejamento*, Governo Federal, Brasil, 2012. Acesso em 24 de fevereiro de 2016, disponível em:
<http://a3p.jbrj.gov.br/pdf/ABRELPE%20Manual%20BOAS%20PRATICAS%202013.pdf>
- BRIDGWATER, A. V. *The technical and economic feasibility of biomass gasification for power generation*. Fuel, v. 74, p. 631 – 653, maio 1995.

- CALDERONI, S. *Os bilhões perdidos no lixo*. 3. ed., Humanitas. São Paulo, 1999.
- CENBIO . *Estado da Arte da Gaseificação: Comparação entre tecnologias de gaseificação de biomassa existentes no Brasil e no exterior e formação de recursos humanos na Região Norte*. 108 p. 2002.
- CICLUS (2016). Acesso em 14 de Fevereiro de 2016, disponível em:
http://www.ciclusambiental.com.br/ciclus_ctr.php
- COMLURB (2016). Acesso em 09 de Janeiro de 2016, disponível em:
<http://www.rio.rj.gov.br/web/comlurb/conheca-a-comlurb>
- COSTA, P.A.C. *Produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos por pirólise de resíduos plásticos*. Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2006.
- DA SILVA, EDUARDO TEIXEIRA. *Tratamento de lixo domiciliar e sua aplicação na recuperação de áreas degradadas*. Curitiba: Rev. Acad., v.5, n.2 : 197-209, 2007.
- DIONYSIO, Luis Gustavo; DIONYSIO, Renata (2010). *Lixo urbano: descarte e reciclagem de materiais*. Acesso em 04 de Janeiro de 2016, disponível em:
http://web.ccead.puc-rio.br/condigital/mvsl/Sala%20de%20Leitura/conteudos/SL_lixo_urbano.pdf
- EDMONTON (2012). *Waste to Biofuels and Chemicals Facility*. Acesso em 03 de janeiro de 2016, disponível em:
http://www.edmonton.ca/programs_services/garbage_waste/biofuels-facility.aspx
- ENERKEM (2014). *Introdução to Enerkem*. Acesso em 20 de Fevereiro de 2016, disponível em
http://conference.sgc.se/ckfinder/userfiles/files/1_2_%20Michel%20Chornet.pdf
- FLEURY, Paulo Fernando. *Gestão Estratégica do Transporte*, ILOS, 2002.
- FUNASA. Manual de saneamento: orientações básicas. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde - FUNASA, 3.ed., 2007.
- GOUVEIA, Nelson. *Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social*. Ciência e Saúde Coletiva, Universidade de São Paulo, 2012.

- GRIMBERG, Elisabeth. *A Política Nacional de Resíduos Sólidos: a responsabilidade das empresas e a inclusão social*, 2014. Acesso em 20 de fevereiro de 2016, disponível em <http://limpezapublica.com.br/textos/1177.pdf>.
- HDR. *Alternative Disposal Feasibility*. Metro Waste Authority. Estados Unidos, 2013.
- IBGE, 2015. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Acesso em 20 de Fevereiro de 2016, disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/painel/painel.php?codmun=330455>
- ILOS (2013). *Apostila do curso de Desenvolvimento de Analistas em Logística e Supply Chain*. Instituto de Logística e Supply Chain, Rio de Janeiro, 2013.
- KUNAR, Sunil. *Composting of municipal solid waste*, Critical Reviews in Biotechnology, p. 112–136, USA, 2011.
- LACERDA, Leonardo (2013). *Logística reversa – uma visão sobre os conceitos básicos e as práticas operacionais*. Acesso em 05 de Janeiro de 2016, disponível em: http://www.paulorodrigues.pro.br/arquivos/Logistica_Reversa_LGC.pdf
- LIMA, Maurício. *Custos Logísticos no Brasil*. ILOS, 2014. Acesso em 16 de Janeiro de 2016, disponível em: <http://www.ilos.com.br/web/custos-logisticos-no-brasil/>.
- LIMA, Maurício. *Os custos de armazenagem na logística moderna*. ILOS, 2000. Acesso em 16 de Fevereiro de 2016, disponível em: <http://www.ilos.com.br/web/os-custos-de-armazenagem-na-logistica-moderna/>.
- LIRA, J. B. de M. *Gestão de Resíduos Sólidos*. IFPE: D-EaD, p.83, 2009.
- LORA, E.E.S. et al. *Gaseificação e pirólise para conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis*. Biocombustíveis, Cap.6, 2012. Acesso em 15 de Dezembro de 2015, disponível em: <http://www.nest.unifei.edu.br/english/pags/downloads/files/Biocombustiveis-Cap06.pdf>
- LYNCH, DAVID. *Renewable chemicals and biofuels for sustainable communities: a commercial reality in Edmonton*. Alberta with Enerkem's thermochemical

- technolog. CSBE/SCGAB Annual Conference Delta Edmonton South Hotel, Edmonton, Alberta, 2015.
- MMA (2012). *Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação*. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, 2012.
- MMA. *Planos de gestão de resíduos sólidos – manual de orientação*. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2012.
- MMA. *Coleta Seletiva – O que é coleta seletiva?*. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Brasília, 2013.
- MORGADO, Tulio Cintra, FERREIRA, Osmar Mendes. *Incineração de resíduos sólidos urbanos, aproveitamento na co-geração de energia*. Universidade Católica de Goiás, 2006.
- NOVA CANA. *Enerkem: detalhes do projeto de biorrefinarias modulares*, 2013. Acesso em 23 de fevereiro, disponível em: <http://www.novacana.com>.
- OLIVEIRA, L.B, REIS, M.M, PEREIRA, A.S. *Resíduos sólidos urbanos: lixo ou combustível?*. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, Brasil, 2000.
- PINTO COELHO. *Reciclagem e desenvolvimento sustentável no Brasil*, Rec óleo, 2009.
- PREFEITURA. *Disgnóstico preliminar de resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro*. Rio de Janeiro, 2015.
- PREFEITURA DO RIO (2012). *Armazém de Dados – Instituto Pereira Passos*. Acesso em 10 de Fevereiro de 2016, disponível em: <http://www.armazemdedados.rio.rj.gov.br/>
- PREFEITURA DO RIO. *Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos da cidade do Rio de Janeiro*. 2012.
- RIO DE JANEIRO (2013). Acesso em 13 de Fevereiro de 2016, disponível em: <http://www.rj.gov.br/web/sea/exibeconteudo?article-id=926885>

- RTI INTERNATIONAL, *Environmental and economic analysis of emerging plastics conversion technologies*, RTI Project No. 0212876.000, 2012.
- SALOMON, Karina; LORA, Electo. *Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil*. Renabio, Biomassa & Energia, v.2, n.1, p. 57-67, 2005.
- SCHUBERT, Jim. *Edmonton waste to biofuels project*. Edmonton Waste Management Centre. Alberta, 2014.
- SECRETARIA DE TRANSPORTES, *Mapeamento do Sistema Logístico de Cargas do Estado do Rio de Janeiro e de Sistemas Logísticos Concorrentes / Complementares, com Modelagem e Definição de Demanda*, Governo do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SENADO FEDERAL (2014). *Como alguns países tratam seus resíduos*. Acesso em 04 de Janeiro de 2016, disponível em Revista em Discussão!, edição número 22,: <http://www.senado.gov.br/noticias/jornal/emdiscussao/residuos-solidos/materia.html?materia=como-alguns-paises-tratam-seus-residuos.html>.
- SMITH, KRISTIN. *Renewable energy from waste*, 2015. Acesso em 15 de Fevereiro de 2016, disponível em: <https://www.rewmag.com/article/rew1015-cover-story-enerkem>
- STATISTICS CANADA, 2008. Acesso em 20 de Fevereiro de 2016, disponível em: <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-201-x/2012000/t003-eng.htm>
- VECOPLAN (2016). Acesso em 15 de fevereiro de 2016, disponível em: <http://www.vecoplanllc.com/>
- WANKE, Peter. *Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimento: Dimensões e Modelos Quantitativos*, 2 ed., São Paulo: Atlas, 2008.