



# I Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente – UFF

Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente - Niterói – RJ – Brasil  
21 a 25 de Outubro de 2013



## Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, introduzindo uma nova tecnologia para o cenário brasileiro: Pirólise Lenta a Tambor Rotativo

**RIAN CARDOSO CHAMON<sup>1</sup>, RODOLFO CARDOSO<sup>2</sup>, CARLOS FREDERICO BARROS<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, rianchamon@gmail.com

<sup>2</sup>Professor DSc do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, rodolfo.cardoso@lei.uff.br

<sup>3</sup> Professor DSc do Departamento de Engenharia da Universidade Federal Fluminense, barros@vm.uff.br

Apresentado no

I Congresso Fluminense de Engenharia, Tecnologia e Meio Ambiente – UFF  
Niterói – RJ, 21 a 25 de Outubro de 2013

**RESUMO:** A destinação de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é um problema de caráter nacional com conseqüências graves à sociedade e ao meio ambiente. Entre 2007 e 2010, segundo ABRELPE, foi observado que 42% dos RSU receberam destinação inadequada em lixões a céu aberto. Neste contexto, foi publicada a Lei Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305 de 02/08/2010), que prevê obrigações aos municípios e entidades responsáveis pelo saneamento público ou privado. Segundo o Índice de Gestão Fiscal criado pela FIRJAN, os municípios brasileiros são em sua maioria incapazes de arcar com seus gastos orçamentários, necessitando de alternativas ambientais corretas capazes de proporcionar balanço favorável na estrutura vigente de custo. É nesse contexto que a tecnologia de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo (PLTR) demonstra ser uma alternativa para o tratamento dos RSU, pois representa uma solução de baixo impacto ambiental, capaz de proporcionar fontes de receita (pela geração de energia) a municípios que não possuem capacitação para o tratamento convencional dos RSU. A Resolução da ANEEL 482/2012 fortalece a aplicação da PLTR, pois permite que fontes alternativas de geração de energia (inferior a 1MW) sejam utilizadas para compensar gastos no consumo, elevando o balanço positivo econômico de gerações dentro deste limite. Este artigo visa apresentar a oportunidade e viabilidade da PLTR para o tratamento de RSU, dentro deste cenário, principalmente em municípios com menos de 100 mil habitantes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Pirólise Lenta à Tambor Rotativo, resíduos sólidos urbanos, geração de energia.

## Treatment of Urban Solid Waste, introducing a new technology for the Brazilian scenario: Slow Pyrolysis in a rotatory reactor

**ABSTRACT:** The destination of Urban Solid Waste (USW) is a problem of national concern, with severe consequences to the urban society and the environment. Between 2007 and 2010, according to ABRELPE, it was observed that 42% of USW had received wrong destination in garbage dumps. Furthermore, it was published a National Law for Solid Residues (Number 12.305 of 08/02/2010), which provides obligations for cities and entities that are responsible for public or private sanitation. According to a score created by FIRJAN, most of the Brazilian's cities are unable to shoulder their budgetary expenses, requiring environmental alternatives capable to produce a positive result in the current structure of costs. The Slow Pyrolysis in a Rotatory Reactor (SPRR) technology has been proven to be an alternative methodology for the USW treatment, as it represents a low environment impact solution, capable of generate sources of revenue (by energy generation) to cities without capacity for the conventional treatment of USW. The Resolution of ANEEL 482/2012 incentivates the application of SPRR, as this technology permits alternatives sources of energy generation (lower than 1MW) being able to be used as a way to compensate the waste of energy, increasing the positive economic balance of generation among

this limit. This paper aims to show the opportunity and the viability of SPRR for the USW treatment inside this scenario, mainly in cities with less than 100 thousands inhabitants.

**KEYWORDS:** Slow Pyrolysis in a Rotatory reactor, urban solid waste, energy generation.

## INTRODUÇÃO

Com o avanço tecnológico e industrial, é observada uma melhoria contínua na agricultura, comunicação, bens de serviço, assim como na produção de bens de consumo. No entanto, tal melhoria é marcada pelo aumento exagerado do descarte e desperdício de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sem um ideal reaproveitamento.

Os RSU transformaram-se, nos últimos anos, em um dos mais importantes problemas ambientais da sociedade. Segundo a Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a geração de RSU no Brasil cresceu 1,3%, de 2011 para 2012, índice que foi superior à taxa de crescimento populacional urbano no país no mesmo período, de 0,9% (ABRELPE, 2012). De acordo com uma matéria publicada na revista da Câmara dos Deputados, uma pesquisa desenvolvida pelo Instituto Akatu apresentou que o volume de lixo produzido no país cresceu de 213 mil toneladas/dia em 2007 para 273mil toneladas/dias em 2013 (MACEDO, 2013).

Dados do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) apresentaram que dos 4.469 municípios brasileiros investigados, 1.856 não realizaram qualquer tipo de tratamento, como incineração, queima ou autoclavação, onde a maior parte deles (2.358) dispuseram seus resíduos em lixões (PNSB, 2008). Além disso, apesar do índice correspondente à destinação final adequada de RSU no ano de 2012 ter permanecido significativo, a quantidade de RSU destinada inadequadamente cresceu em relação ao ano anterior, em que 23,7 milhões de toneladas seguiram para lixões ou aterros controlados (ABRELPE, 2012).

A taxa crescente da produção de RSU, exigências legislativas, evolução das soluções técnicas de valorização e a eliminação desses resíduos, têm originado custos crescentes de gestão, pressionando as entidades gestoras a alterar ou otimizar as soluções técnicas existentes (SANTOS, 2011). Com isso, no ano de 2010, entrou em vigor a Lei Nacional de Resíduos Sólidos nº. 12.305, que regulamenta o setor e define objetivos e metas a serem alcançados no que diz respeito à eliminação destes resíduos. Entre os principais pontos da nova política está a eliminação de lixões e aterros controlados até 2014, assim como, o aumento da coleta seletiva e da responsabilidade compartilhada. Para tal, serão introduzidas no mercado brasileiro, novas tecnologias para o tratamento e aproveitamento energético dos resíduos sólidos, como proposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos.

O direcionamento estratégico nacional para o tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos, Industriais e Médico-Hospitalares, pode ser analisado em conjunto com os esforços nacionais na melhoria da geração de energia, elevação da confiabilidade do fornecimento e na descentralização de sua produção. Nesse sentido foi instituída em 17 de Abril de 2012 a Resolução Aneel 482/2012, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências.

Essa resolução, considerada um marco para a descentralização da geração de energia no Brasil, permite a conexão de capacidades de até 1MW na rede de distribuição, inclusive em baixa tensão. Dentro do contexto proposto pelo nosso trabalho, a resolução Aneel 482/2012 proporciona uma alternativa para que algumas tecnologias para tratamento de resíduos com geração de energia tornem-se mais rentáveis, fortalecendo a viabilidade técnico-econômica de modelos de utilização para aproveitamento de resíduos.

Desta forma, vêm sendo conduzido no Brasil um projeto inovador voltado ao desenvolvimento de Unidade de Aproveitamento Energético de Resíduos por meio de Tecnologia de Pirólise a Tambor Rotativo (UTR-PLTR), implementado como unidade piloto totalmente nacionalizada no município de Boa Esperança.

Este projeto, financiado por Furnas Centrais Elétricas, conta com a participação da Universidade Federal Fluminense, do Centro para Inovação e Competitividade, da Innova Renováveis Ltda e da CDIOx Safety Ltda. Assim, este artigo, valendo-se de estudos já realizados por integrantes do projeto, tem por objetivo apresentar a aplicação da tecnologia denominada Pirólise Lenta a Tambor Rotativo (PLTR), como solução técnica para o tratamento de RSU, combinada com a capacidade de minigeração de energia (Menor que 1 MW), atendendo as necessidades brasileiras da descentralização da geração de energia.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **TECNOLOGIA DE PIRÓLISE LENTA A TAMBOR ROTATIVO**

Atualmente são encontrados diversos tipos de processos térmicos em funcionamento e em desenvolvimento ao redor do mundo. Para melhor compreender tais metodologias, podemos dividir estes processos em tecnologias que utilizam a combustão direta ou indireta, como incineração, gaseificação, pirólise, plasma, carbonização e coprocessamento, e em tecnologias que não utilizam este processo químico, mas apenas aquecem os resíduos com o objetivo de esterilizá-los, como é o caso da tecnologia de autoclave e microondas, utilizadas especialmente para o tratamento de Resíduos de Serviço de Saúde (RSS).

Vale ressaltar que, cada uma dessas tecnologias apresenta diferentes configurações e condições de processamento (modo de aquecimento, temperatura, tipo de reator) com resultados que podem ser completamente distintos.

Por definição, a pirólise consiste na degradação térmica de hidrocarbonetos na ausência de oxigênio (CONTI, 2009). Este processo requer uma fonte externa de calor para aquecer a matéria e podendo fazer a temperatura variar de 300°C a mais de 1000°C. Entretanto, tem se observado que qualquer processo térmico com temperaturas superiores a 300°C na ausência de oxigênio, são considerados métodos de pirólise, o que torna o termo extremamente abrangente. Inicialmente, é possível fazer uma distinção quanto aos parâmetros de operação, como tempo de residência dos resíduos e a temperatura a qual ele é submetido (CONTI, 2009):

- Pirólise Lenta - Processo a temperaturas superiores a 400°C e longos períodos de residência (40min – 1hora) em que a proporção dos produtos obtidos normalmente é 30% líquidos, 35% carbonáceos e 35% gases;
- Pirólise Rápida - Processo a temperatura entre 400°C e 600°C e períodos de residência curtos ( $t < 2$  seg) em que a proporção dos produtos obtidos normalmente é de 75% líquidos, 12% carbonáceos e 13% gases; e
- Flash Pirólise - Processo a temperaturas superiores a 800°C e períodos de residência curtos ( $t \sim 1$  seg), a proporção dos produtos obtidos normalmente é de 5% líquidos, 10% carbonáceos e 85% gases.

A equipe técnica do projeto UTR-PRLS, por meio de visitas técnicas avaliaram processos que utilizam a tecnologia de Pirólise Lenta e que apresentam efetivo sucesso no tratamento de resíduos. Algumas referências são citadas abaixo:

- Em Burgau, na Alemanha, foi construída uma usina com capacidade de 95 t/dia de RSU, RSS, lodo de esgoto e de solo contaminado, que opera continuamente desde

1982. Em 2001 foi construída outra unidade de RSU em Hamm, com capacidade de 288 t/dia;

- Em Bristol, Inglaterra, existe unidade de tratamento de RSS com capacidade de 24 t/dia, que opera continuamente há 9 anos;
- Em Kéflavik, Islândia, existe unidade de tratamento de RSU e RSS com capacidade de 60 t/dia, que opera continuamente há 5 anos;
- Em Arthelyse, França, existe uma unidade de tratamento de RSU com capacidade de 137 t/dia. Outras três foram construídas no Japão, pela Hitachi Ltda; e
- Uma dezena de unidades foi construída pela Siemens e pela Mitsui (tecnologia R21). A primeira data de 1984 em Ulm, Alemanha, com capacidade de 5 t/dia. As restantes têm capacidade entre 100 t/dia e 200 t/dia e estão localizadas, principalmente, no Japão.

A tecnologia utilizada no projeto Furnas UTR-PLTR é de propriedade da parceria MAIM/INNOVA. A UTR-PLTR é uma evolução da tecnologia de pirólise lenta, pois, além de possuir flexibilidade de tratamento de uma ampla variedade de matrizes orgânicas (inclusive resíduos de baixa qualidade como o lixo urbano), transforma os gases obtidos em um gás de síntese limpo, que pode ser utilizado em grupos geradores a gás e turbogeradores. Esta característica permite o desenvolvimento de sistemas mais compactos e modulares, que viabilizam economicamente sistemas de minigeração a partir de biomassa e resíduos.

A primeira reação envolvida no processo PLTR é a reação de pirólise, que permite a quebra de cadeias longas de hidrocarbonetos, apresentados como sólidos, em hidrocarbonetos de cadeias menores, líquidos ou gases. A segunda reação, que ocorre concomitantemente a primeira, é o processo de gás d'água. Tal processo utiliza vapor d'água como reagente, transformando alcatrão e carvão em hidrogênio e monóxido de carbono. Para alimentar tais reações, é necessária a queima de cerca de 30% do gás de síntese gerado, fazendo com que este processo seja autossustentável. Os 70% de gás restante pode ser utilizado em grupos geradores para geração de energia elétrica e térmica, ou então, diretamente em sistemas térmicos para gerar calor (vapor, água quente, ar quente) ou frio (*chiller*).

Enquanto as tecnologias de Pirólise a Tambor Rotativo tradicionais buscam queimar o gás de síntese ainda contendo impurezas, a tecnologia de transformação dos resíduos sólidos em gás de síntese da MAIM/INNOVA, o purifica através de um processo de lavagem, transformando-o em um gás de síntese limpo, sem qualquer contaminante, utilizado para a geração de energia elétrica e térmica em grupos geradores a gás (cogeração). Por fim, o gás de síntese limpo é constituído principalmente por elementos químicos elementares e a sua composição pode ter pequenas variações, devido ao tipo de material ou às condições no reator. No entanto, de modo geral, a composição não se afasta substancialmente de 40% de hidrogênio, 20% de hidrocarbonetos leves (metano, etano e propano), 18% de monóxido de carbono, e 15% de gases inertes como dióxido de carbono, nitrogênio e oxigênio. A matéria orgânica presente no RSU é tratada termicamente por pirólise e convertida em gás de síntese (aproximadamente 90% da matéria orgânica seca) e coque/carvão (10% restantes). Outros inorgânicos também estarão presentes nos rejeitos sólidos da pirólise. No total, os rejeitos sólidos da pirólise terão entre 10% e 15% do peso do resíduo bruto.

As usinas de pirólise não produzem cinzas voláteis (resíduos perigosos com alta concentração de dioxinas e furanos), não se prevendo a produção de resíduos perigosos. Os rejeitos sólidos gerados pela usina de pirólise consistem, principalmente, de: (a) resíduos metálicos segregados na etapa de preparação do RSU para o reator de pirólise e (b) rejeitos inertes decorrentes da pirólise dos RSU no reator.

Os rejeitos inertes decorrentes da pirólise dos RSU, possuem expectativa de caracterização como “biochar”. Essa denominação é atribuída a composto inerte identificado

na Bacia Amazônica, onde ilhas de solos ricos e férteis, chamados “terra preta”, foram criados pelos indígenas. Antropólogos especulam que fogueiras e cozinhas de sambaquis, junto com colocação deliberada de carvão vegetal no solo, resultaram em solos férteis e com alto teor de carbono, muitas vezes com cacos de cerâmica quebrada. Estes solos continuam até hoje a reter o carbono e permanecem ricos em nutrientes, fazendo com que sejam escavados, ensacados e vendidos nos mercados brasileiros. O “biochar” pode também ser produzido através de pirólise ou gaseificação, processos em que a biomassa é submetida ao calor na ausência ou com a redução de oxigênio (MAIA, MADARI & NOVOTNY, 2011).

Algumas investigações têm confirmando os benefícios gerados pelo “biochar” no solo, como, redução da lixiviação de nitrogênio em águas subterrâneas, possíveis reduções de óxido nítrico, aumento da capacidade de troca catiônica, resultando em melhoria da fertilidade do solo, moderação da acidez do solo, aumento da retenção de água e aumento do número de microorganismos benéficos do solo. Estas utilizações do “biochar” como base para correção de solo tem sido propostas para reduzir as alterações climáticas antropogênicas e para melhorar a fertilidade do solo agrícola. Tal metodologia pode melhorar quase todos os tipos de solos, e em áreas com pouca precipitação ou solos pobres em nutrientes, provavelmente poderá acontecer o maior impacto da adição de “biochar” (MAIA, MADARI & NOVOTNY, 2011).

Em relação às alterações climáticas, a produção de “biochar” influencia o ciclo global do carbono, pois quando o “biochar” é produzido a partir de material rico em carbono, que de alguma forma teria se oxidado em curto ou médio prazo, é colocado em um ambiente protegido de oxidação. Sendo assim, o “biochar” pode proporcionar um meio de sequestrar o carbono que teria entrado na atmosfera como um gás do efeito estufa. (MAIA, MADARI & NOVOTNY, 2011).

## **ESTUDOS COMPARATIVOS COM OUTRAS TECNOLOGIAS**

A comparabilidade entre as diferentes tecnologias utilizadas para o tratamento de RSU não dependem exclusivamente de seus processos de aplicação, mas sim do contexto de sua aplicação quanto à finalidade, caracterização dos resíduos, formas de custeio e receita.

No Brasil, entretanto, não temos estudos que abordem de forma abrangente e aplicada as diferentes tecnologias mundialmente utilizadas para tratamento de RSU. Assim, nesse artigo, utilizaremos como base as conclusões do Centro Nacional de Pesquisas da Itália (CNP):

- Os sistemas de pirólise, ao garantir a ausência de ar, permitem alcançar eficiências termodinâmicas superiores e resultados de emissão melhores através da remoção de substâncias nocivas antes da fase de combustão;
- Os combustíveis produzidos (gás de síntese) são sensivelmente mais ricos que os obtidos através de processos de gaseificação, visto que não utilizam nenhuma forma de oxidação. Estas características tornam o processo ainda mais versátil e adequado para o aproveitamento energético;
- O sistema pode ter dimensões reduzidas, podendo ser instalado em galpões relativamente pequenos no interior de áreas industriais (2000 m<sup>2</sup> máximo);
- O baixo impacto no território e no ambiente permite a aceitação da população local;
- Ótimo rendimento global de conversão dos resíduos em calor, com significativa produção de energia elétrica;
- O sistema reduz a dependência de aterros sanitários;
- A flexibilidade da tecnologia permite também a destinação de resíduos hospitalares, de reciclagem de automóveis, lodo de ETEs e biomassa em geral.

Adicionalmente, as avaliações realizadas em unidades em operação dos diferentes tipos de tecnologia apresentados permitem destacar outras vantagens da tecnologia de PLTR:

- É capaz de tratar resíduos com baixo poder calorífico, inclusive solo contaminado com hidrocarbonetos, que é quase exclusivamente matéria inerte sem potencial energético (solo). Naturalmente o rendimento da usina é inferior nestes casos;
- É capaz de remediar lixões, ao processar os resíduos que se encontram ali depositados;
- Não concorre com a reciclagem, pelo contrário, a usina opera de modo a maximizar os recursos provenientes do lixo, sejam eles energéticos ou de material. Sendo assim, ela pode tratar seja lixo indiferenciado que a fração orgânica da coleta seletiva;
- Pode operar em conjunto com uma unidade semi manual de segregação de recicláveis, o que permite a integração dos catadores gerando trabalho e renda, que é previsto pela nova Lei Nacional de Resíduos Sólidos;
- A limpeza do gás de síntese permite grandes vantagens: ganho de eficiência elétrica ao utilizar grupos geradores, modularidade, emissões sensivelmente inferiores às outras tecnologias, utilização do calor residual para processos térmicos, etc.;
- É capaz de transformar um combustível de péssima qualidade (lixo) em um ótimo combustível (gás de síntese), mantendo 85% da energia original;
- O processo é autossustentável, sendo que 30% do gás de síntese limpo é enviado para o sistema de aquecimento do reator e os restantes 70% são utilizados em grupos geradores para produzir energia elétrica;
- A modularidade do processo permite facilmente a ampliação e a adequação às necessidades locais, sendo que cada módulo trata 47 t/dia de lixo;
- Os gases de escape dos grupos geradores que seriam liberados na atmosfera a uma temperatura de 460°C podem ser reaproveitados para produzir energia térmica;
- A tecnologia é robusta e não possui nenhum equipamento extremamente complexo com tecnologia de ponta, que viria a encarecer o processo. O mesmo não se pode dizer de outras tecnologias como a de plasma;
- As temperaturas são limitadas (450°C), sendo assim não é exigido nenhum material resistente a altas temperaturas, o que torna o processo relativamente mais barato quando comparado às outras tecnologias;
- Quando o syngas é finalmente queimado no grupo gerador ou no sistema de aquecimento do reator não há mais cloro e, portanto, não há formação de dioxinas e furanos;
- Existem tecnologias que estão utilizando o gás de síntese limpo para a síntese de combustível (tecnologia Fischer-Tropsch) e outros produtos químicos, o que permite uma gama de possibilidades futuras.

## **O MODELO DE APLICAÇÃO DA UTR-PLTR NO PROJETO FURNAS**

Os estudos iniciais para configurar o projeto de Furnas, uniram o uso da Tecnologia de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo da MAIM/INNOVA com as condições de aproveitamento da minigeração estabelecidas na resolução Aneel 482/2012. Com isso, as produções de energia devem se limitar a 1MW.

Como consequência, as UTR-PLTR foram projetadas considerando as seguintes condições de operação e sucesso:

- Solução para a disposição dos RSU coletados e capacidade de eliminar passivos ambientais existentes com o uso de “lixões”;

- Capacidade nominal menor que 1MW, minigeração, modularmente projetada para diferentes dimensões de municípios e quantidades de RSU;
- Dimensões capazes de proporcionar sua instalação próxima a lixão existente no município ou área urbana, com baixo impacto negativo à sociedade ou ao meio ambiente;
- Capacidade de operar, ainda em condições econômicas sustentáveis, com atividades de coleta seletiva e reciclagem de RSU;
- Alta sustentabilidade econômica, por meio de um elevado percentual de aproveitamento energético com o tratamento dos resíduos, estabelecendo economias substanciais dos custos de disposição final dos resíduos e consumo de energia nas utilizações públicas municipais (iluminação pública, escolas, prédios públicos municipais, atividades de tratamento de água e esgoto, entre outras);

No específico caso da unidade piloto, a ser implementada no município de Boa Esperança, definiu-se utilizar o máximo dimensionamento de aproveitamento da minigeração – 1MW. No entanto, foram estabelecidas outras configurações menores capazes de atender a especificidades de uma enorme gama de municípios brasileiros ou consórcio intermunicipais.

A unidade de 1MW tem capacidade de oferta de 24MW por dia, em regime de operação de 24h, consumindo em torno de 47 toneladas de resíduos. Sua oferta de energia, com base na resolução da minigeração, pode ser utilizada para compensar a energia consumida pelo município.

Os estudos realizados no projeto UTR-PLTR Furnas para o processo de licenciamento ambiental, já autorizado, demonstraram claramente que a instalação da Usina de Pirólise a Tambor Rotativo, como aplicação de solução socioambiental para o tratamento de RSU, constrói um cenário futuro de significativa melhoria da qualidade ambiental da região do entorno do empreendimento e das condições socioeconômicas do município de Boa Esperança (RCA, 2013).

Pode-se afirmar, com base no estudo, que a usina de pirólise representa, por si mesma, um programa de mitigação de impactos ambientais, pois será instalada em área ambientalmente degradada pela existência de lixão irregular, sendo responsável pela eliminação desse lixo passivo em médio prazo. Essa condição tem efeito similar em um grande número de municípios brasileiros que precisam resolver a disposição final dos seus resíduos, mas precisam também eliminar o passivo ambiental criado pelo uso inadequado de lixão ao longo de anos.

O estudo destaca um conjunto de benefícios socioambientais da aplicação da UTR-PLTR:

- Melhoria nas condições ambientais do entorno da usina de pirólise e lixão, com a eliminação do passivo ambiental existente que provoca contaminação no solo, águas subterrâneas e nascentes próximas;
- Melhoria na qualidade do ar, com a eliminação da fonte de emissão de metano pelo consumo dos RSU já dispostos no atual lixão de Boa Esperança;
- Eliminação dos vetores de doenças atualmente associados ao lixão de Boa Esperança, atualmente em elevada proliferação no local (roedores, urubus, etc.);
- Redução dos gastos municipais com consumo de energia elétrica pelo uso da regulamentação de compensação por minigeração, em decorrência a melhoria da disponibilidade de energia elétrica por meio da possibilidade de aumento de oferta em iluminação pública, escolas, postos de saúde, etc.;
- Melhoria das condições socioeconômicas e do IDH pela maior capacidade municipal de oferta de energia elétrica e reaplicação dos recursos economizados pela compensação energética em outras necessidades da comunidade;

- Apoio, por meio da capacidade de ação combinada da usina de pirólise e do movimento de coleta seletiva (conforme já destacado neste relatório), ao movimento organizado de catadores do município de Boa Esperança;
- Potencial fonte de recursos financeiros e empregos com a exploração dos rejeitos inertes, na condição de “biochar”, conforme relatado neste relatório, provendo opção de atuação combinada com a associação de catadores do município de Boa Esperança.

Além disso, o estudo para o licenciamento analisou as viabilidades econômicas do cenário de aplicação da UTR-PLTR no município de Boa Esperança. Nesse cenário, conforme estudo (RCA,2013), a energia gerada na usina será utilizada para compensar o consumo de unidades vinculadas ao CNPJ da prefeitura, tais como escolas, prédios públicos municipais, iluminação pública municipal, entre outras, estimada em 7.896 MW/ano (8.760 MW/ano de energia gerada pela usina subtraído 72 MW/mês = 864 MW/ano de energia consumida para manter a usina em operação).

Isso significa uma compensação energética que pode evitar um custo estimado para o município de até R\$ 3.194.699,88 por ano, considerando-se a tarifa atual do município de R\$ 0,40459725 por kW. Adicionalmente, os créditos com a compensação de energia podem ser utilizados dentro de prazo de 2 anos (caso geração de energia elétrica seja superior ao consumo), o que garante que sobras possam compensar os picos de consumo nas épocas de eventos turísticos e férias.

O estudo destaca também que a usina de pirólise necessita de somente uma hora para entrar em operação, e que a energia necessária para degradação é proveniente dos próprios gases gerados, não havendo, portanto, consumo externo para operação após a 1ª hora. A operação é realizada com uma equipe de 4 a 6 pessoas por turno de 8 horas, e que os custos com manutenção por operação são pouco significantes quando desdobrados em horas de operação.

Dessa forma, os benefícios financeiros auferidos com a UTR-PLTR para o município de Boa Esperança são compostos por 3 fatores:

- Economia com a destinação dos RSU coletados - R\$ 592.000,00 por ano;
- Economia com o tratamento dos resíduos dispostos no lixão da cidade, após mais de 10 anos de operação - estimados em R\$ 500.000,00;
- Compensação energética do município - R\$ 3.196.699,88 por ano.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise final desse artigo deve considerar 3 perspectivas. A primeira delas sob o ponto de vista da tecnologia de Pirólise Lenta a Tambor Rotativo, em especial a tecnologia MAIM/INNOVA. A segunda perspectiva em termos de impactos socioambientais. E a terceira, tendo por base a capacidade de aplicação nas especificidades dos municípios brasileiros.

Do ponto de vista da tecnologia, o estudo do Centro Nacional de Pesquisas da Itália (CNP), apresenta inúmeras vantagens, conforme apresentado anteriormente. Especificamente, a tecnologia MAIM/INNOVA, pode-se destacar:

- O processo ocorre de forma autosuficiente, consumindo 30% dos gases gerados, não necessitando da inserção de fontes de energia externas;
- São capazes de operar com resíduos mais úmidos que as demais tecnologias, o que se torna altamente adequado nas características dos RSU brasileiros (com mais de 60% de umidade); Isso ocorre porque a tecnologia MAIM/INNOVA, além das



reações de pirólise, utiliza as reações de gás d'água, na qual o carbono reage com vapor d'água e forma monóxido de carbono e hidrogênio;

- Outras unidades fazem a combustão do gás de síntese diretamente em caldeira. Esta tecnologia limpa o gás e o envia a grupos geradores. Quando o gás de síntese é utilizado em grupos geradores a gás obtém uma eficiência superior à eficiência de um ciclo a vapor (caldeira e turbina a vapor), ou seja, enquanto os melhores incineradores atingem uma eficiência de 20%, o sistema de transformação dos resíduos sólidos em gás de síntese e o seu uso em grupos geradores permite atingir eficiências elétricas globais de até 30%;
- Opera com temperaturas mais baixas que outras unidades de pirólise (450°C), o que reduz riscos de segurança e meio ambiente, além de proporcionar vantagens operacionais no acionamento e paralisação da unidade.

Dentro da perspectiva socioambiental, os estudos ambientais demonstram os insignificantes impactos negativos sobre o meio ambiente e comunidades locais. Por outro lado, seus benefícios são evidentes, tendo em vista a correta destinação dos resíduos e capacidade de eliminação de passivos ambientais dos lixões existentes.

A obtenção de um gás combustível limpo tem uma série de vantagens ambientais, pois o controle de pureza desse gás garante que a combustão de gases limpos irá produzir emissões limpas, ou seja, a combustão de hidrogênio, hidrocarbonetos e monóxido de carbono irá produzir somente dióxido de carbono e vapor d'água. Nem a matéria inerte, nem os gases passam por nenhum processo oxidante (não há combustão/queima), e portanto não há produção de dioxinas, furanos, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, cinzas volantes, vapores de metais pesados, etc.

Por fim, sob a perspectiva de aplicação, deve-se iniciar considerando que a maioria dos municípios brasileiros é menor que 60 mil habitantes (91%), ou seja, geram menos de 47 ton/dia de RSU. Assim esses municípios seriam capazes de tratar seus RSU com geração de energia que aproveitem as características de minigeração, condição amplamente favorável ao uso da UTR-PLTR.

Se considerarmos o Índice de Gestão Fiscal, criado pela FIRJAN, os municípios brasileiros são em sua maioria incapazes de arcar com seus gastos orçamentários. Essa situação deve ser considerada quando se busca a solução ao tratamento de RSU, pois soluções, mesmo que ambientalmente corretas, que produzam contínuos gastos municipais tendem a ser abandonados futuramente, como o que vem ocorrendo com os Aterros Sanitários.

A UTR-PLTR possui característica de oferta contínua de compensação de gastos com energia elétrica. Sua descontinuidade provocaria encerramento dessa compensação, tornando mais vantajoso ao município continuar com os gastos de operação da usina que retornar a pagar o consumo de energia.

Assim, de forma geral, a UTR-PLTR possui elevados benefícios, em especial quanto aos municípios de menor porte, que não possuem estrutura adequada para a operação de obras de engenharia dispendiosas como aterros sanitários. Para eles, a implementação dessa nova tecnologia permitirá tratamento passivo de resíduos sólidos existentes dispostos de forma irregular em lixões abertos e o correto tratamento dos que serão gerados futuramente, trazendo qualidade de vida e reduzindo os riscos a saúde, com a eliminação da percolação de chorume, da liberação de gases de efeito estufa e da proliferação de vetores de doenças.

A tecnologia de PLTR com a utilização de grupos geradores a gás torna-se uma excelente alternativa economicamente viável de aproveitamento da biomassa e de resíduos sólidos em pequenas capacidades. Isso permitirá aplicação como unidade de serviço descentralizada para pequenos municípios, distritos, localidades isoladas, clientes industriais, hospitais, shopping centers e condomínios na transformação de resíduos em energia elétrica ou gás de síntese.

Nacionalmente, os resultados do uso da tecnologia PLTR permitirão a diversificação da matriz energética brasileira. Embora existam usinas que gerem energia a partir de resíduos no país, estes projetos não utilizam processos térmicos e sim, o gás de aterro captado em aterros sanitários. Esta aplicação é limitada para grandes empreendimentos e possui uma taxa de conversão de resíduos em energia mais de 10 vezes inferior a da tecnologia proposta.

## REFERÊNCIAS

ABRELPE (Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2012. São Paulo-SP. 2012.

CNP. Departamento de Energia e Transporte - Centro Nacional de Pesquisa (Itália) – *Il ciclo integrato dei rifiuti in Campania: Prospettive e possibilità reali di applicazione*.

CONTI, LEONETTO. **La pirolisi: il processo, I punti di forza, le opportunità**. Università degli Studi di Sassari, Itália. pg. 8; 2009

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010.

MACEDO, ANA RAQUEL. "Produção de lixo no Brasil aumentou em 60 mil toneladas desde 2007". Câmara Notícias: revista eletrônica da Câmara dos Deputados do Brasil. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/444229-PRODUCAO-DE-LIXO-NO-BRASIL-AUMENTOU-EM-60-MIL-TONELADAS-DESDE-2007.html>. Acesso em: 30/08/2013.

MAIA, C.M.B.F; MADARI, B.E. & NOVOTNY, E. **Advances in Biochar Research in Brazil**. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*. 5 (Special Issue 1), 53-58, 2011.

PNSB. Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia Estatística, 2008.

Santos, Pedro Henrique Mousinho do Rosário. **Avaliação de circuitos de recolha de resíduos urbanos: indicadores operacionais**. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, perfil Engenharia Sanitária. Universidade Nova de Lisboa. Portugal. 2011.