

# Estudo do Potencial de Utilização da Biomassa Resultante da Poda e Remoção de Árvores na Área de Concessão da AES Eletropaulo

Geraldo F. Burani, Suani T. Coelho, Cristiane L. Cortez, Renata P. Grisoli, Fabio Gavioli e Silma Carmelo

**Resumo-** No contexto da questão ambiental a temática resíduos sólidos desponta devido à escassez de métodos e soluções para seu manejo. Este artigo apresenta o projeto que efetuou levantamento dos impactos causados por resíduos de poda urbana gerados pela AES Eletropaulo e implementou uma planta experimental de compostagem destes resíduos, finalizando o manejo desta operação. O levantamento mostra que 50% dos municípios envolvidos descartam os resíduos em lixões ou aterros sanitários, enquanto que apenas 8% realizam compostagem. O composto orgânico obtido na usina experimental atingiu níveis de qualidade satisfatórios em relação às especificações de qualidade mínima vigentes. A viabilidade da implantação de uma usina de compostagem foi comprovada, com a ressalva de que quanto maior a produção, menor será o tempo para o retorno do investimento inicial. Baseado nos conceitos de responsabilidade socioambiental, espera-se que estes resultados possam auxiliar os setores civil, público e privado a contribuir com o desenvolvimento sustentável.

*Palavras-chave*— compostagem; poda urbana; resíduos sólidos.

## I. INTRODUÇÃO

A importância da arborização urbana é dada por diversas ações de controle das poluições sonora, visual e atmosférica e pela melhoria do microclima e da estética das cidades. As principais funções da arborização urbana são: função química – absorção do gás carbônico e liberação do oxigênio, melhorando a qualidade do ar urbano; função física – oferta de sombra, absorção de ruídos e proteção térmica; função paisagística – quebra da monotonia da paisagem pelos diferentes aspectos e texturas; função ecológica – abrigo e alimento aos animais e função psicológica – bem estar às pessoas proporcionado pelas massas verdes [1].

Sabe-se que a convivência entre as redes de distribuição de energia elétrica e a arborização é um dos grandes desafios para as prefeituras e concessionárias de energia elétrica nos diversos estados brasileiros. Na maioria das vezes este prob-

lema se agrava pelo fato de que a arborização e as implantações dos sistemas elétricos de distribuição são planejados e realizados de forma independente, que acabou resultando em uma disputa entre as árvores e as redes de distribuição pelo mesmo espaço físico [2].

Diante do exposto, surge então a necessidade de poda das árvores, para que seja permitida a coexistência da vegetação, sem causar prejuízos à distribuição de energia elétrica [3].

Na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), a empresa responsável pela distribuição da energia elétrica é a AES Eletropaulo, que atende cerca de 16,5 milhões de pessoas. Sua área de concessão abrange 4.526 km<sup>2</sup> e concentra a região socioeconômica mais importante do país com 5,5 milhões de unidades consumidoras, sendo composta por vinte e quatro municípios da RMSP, incluindo a capital. Está dividida em cinco Unidades administrativas, ABC (Diadema, Mauá, Ribeirão Pires, Rio Grande da Serra, Santo André, São Bernardo do Campo e São Caetano do Sul), Oeste (Barueri, Cajamar, Carapicuíba, Cotia, Embu, Embu-Guaçu, Itapeverica da Serra, Itapevi, Jandira, Jujutiba, Osasco, Pirapora do Bom Jesus, Santana do Parnaíba, São Lourenço da Serra, Taboão da Serra e Vargem Grande Paulista) e três na capital: Norte, Leste e Sul [4].

Os governos municipais de acordo com a Constituição Federal Brasileira, Artigo 30, incisos I e V têm a responsabilidade da gestão dos resíduos sólidos urbanos de origem nos domicílios domésticos, comerciais e industriais de pequeno porte, além dos resíduos coletados nos espaços públicos, o chamado lixo público.

Desta maneira, a realização das podas e a destinação dos resíduos na RMSP são de inteira responsabilidade dos municípios, sendo assim, a AES Eletropaulo auxilia no que diz respeito, para que não haja interferência na qualidade de seu serviço.

De acordo com um levantamento realizado pelo CENBIO (Centro Nacional de Referência em Biomassa) no ano de 2006, de uma amostra de 16 municípios com as principais concessionárias de energia elétrica do país, aproximadamente, 70% descartava os resíduos de poda em lixões ou aterros sanitários. [5]

Os resíduos de poda, ao serem depositados nos aterros, misturam-se com os outros resíduos sólidos, que podem conter substâncias perigosas e materiais biológicos biodegradáveis, que interagem química e biologicamente, como um reator químico causando impactos sobre a qualidade do ar, do solo e da água [6]. Esses resíduos quando acumulados no

---

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica regulado pela ANEEL e consta dos Anais do V Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica (V CITENEL), realizado em Belém/PA, no período de 22 a 24 de junho de 2009.

G. F. Burani trabalha no Instituto de Eletrotécnica e Energia (e-mail: [fburani@iee.usp.br](mailto:fburani@iee.usp.br)).

S. T. Coelho, C. L. Cortez, R. P. Grisoli, e F. Gavioli trabalham no Centro Nacional de Referência em Biomassa (e-mails: [suani@iee.usp.br](mailto:suani@iee.usp.br), [clcortez@iee.usp.br](mailto:clcortez@iee.usp.br), [rgrisoli@iee.usp.br](mailto:rgrisoli@iee.usp.br), [fgavioli@iee.usp.br](mailto:fgavioli@iee.usp.br)).

S. Carmelo trabalha na AES Eletropaulo (e-mail: [silma.carmelo@aes.com](mailto:silma.carmelo@aes.com)).

meio ambiente, de forma inadequada, além de causar problemas de poluição caracterizam também um desperdício da matéria originalmente utilizada.

Por conta dos problemas ambientais em geral e mudanças estratégicas ocorridas nos conselhos de desenvolvimento dos países e principalmente a partir das últimas décadas, os governantes por pressões sociais e escassez de recursos naturais, entre outros, foram obrigados a aplicar políticas que levassem em conta a preservação do meio ambiente [7].

Uma das principais metodologias adotadas para essas políticas é o estudo de impactos ambientais, que possui como objetivo avaliar as conseqüências de algumas ações, para que possa haver a prevenção da qualidade de determinado ambiente que poderá sofrer a execução de certos projetos ou ações, ou logo após a implementação dos mesmos.

Em suma, impacto ambiental é qualquer alteração benéfica ou adversa causada por ações, serviços e/ou produtos de uma atividade natural ou antrópica. Um exemplo, que pode agravar o problema de impacto ambiental é a falta de locais apropriados para a disposição dos resíduos sólidos gerados e técnicas cada vez mais onerosas para seu tratamento que constitui um dos maiores e principais problemas enfrentados pela civilização contemporânea [8].

Baseado no sentido de responsabilidade socioambiental, o projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) “Estudo do potencial de utilização da biomassa resultante da poda e remoção de árvores na área de concessão da AES Eletropaulo”, realizado pela AES em parceria com o Cenbio, previu em suas etapas iniciais, o levantamento dos locais de geração e/ou armazenamento dos resíduos vegetais, provenientes da poda de árvore preventiva e/ou emergencial executada na área de concessão da AES Eletropaulo, por meio de empresas prestadoras deste serviço, assim como a consolidação dos dados levantados e a estimativa da quantidade anual de resíduos vegetais provenientes da poda de árvores.

Em uma segunda etapa este projeto trabalhou as possibilidades de manejo destes resíduos, enfocando a compostagem, que é um processo de decomposição aeróbia da matéria orgânica em condições específicas.

Sendo assim, estudos e pesquisas sobre resíduos sólidos englobando as questões ambientais e de saúde pública estão se tornando mais aprofundados [9] e em maior quantidade. Os projetos de (P&D) como este, são cada vez mais necessários, principalmente os que englobam essas questões e propõem formas de tratamento para os resíduos sólidos mais simplificadas e eficientes, que levam em consideração as características básicas dos resíduos, evitando assim, custos elevados para seu tratamento sanitariamente adequado.

## II. RESULTADOS

### A. Levantamento dos resíduos de poda na área de concessão da AES Eletropaulo

No primeiro ano do projeto foi realizado um levantamento qualitativo das destinações dos resíduos de poda urbana nas regiões de concessão da AES Eletropaulo. Assim, obteve-se que os resíduos da poda programada, provenientes das Unidades localizadas no município de São Paulo (Norte, Leste e Sul), são destinados a uma empresa que os transforma em biomassa para ser utilizada como combustível para caldeira.

Na Unidade ABC, que possui sete municípios, a coleta dos resíduos de poda está sob responsabilidade das empresas contratadas para realizar o serviço de poda. Na unidade Oeste, a maior entre todas as unidades da área sob concessão da Eletropaulo, a mais arborizada e a que engloba o maior número de municípios de todas as Unidades (dezesesseis), as empresas são contratadas pela Eletropaulo apenas para a realização da poda. As prefeituras são avisadas quando da realização dos serviços de poda e encaminham equipe para a coleta dos resíduos e destinação final dos mesmos.

Apesar da destinação final destes resíduos não ser feita pelas empresas contratadas pela AES Eletropaulo, a investigação da destinação final dos resíduos de poda se torna pertinente.

Conforme gráfico apresentado na figura 1, o levantamento realizado nos 24 municípios da área de concessão da AES Eletropaulo, correspondente a São Paulo, ABC e a unidade Oeste, mostra que metade desses municípios utiliza aterros sanitários e lixões para o descarte dos resíduos de poda. Tal prática pode ser considerada não sustentável para destinação destes resíduos, pois impossibilita a utilização do poder calorífico e do teor de matéria orgânica que pode retornar ao solo na forma de composto orgânico, sendo que apenas 8% realizam compostagem.

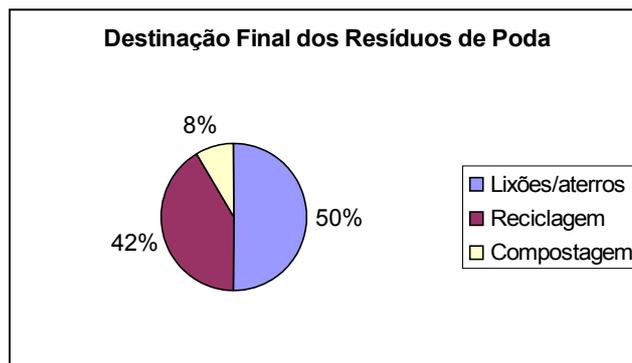


Figura 1. Gráfico de levantamento de dados realizado em 24 municípios da área de concessão da AES Eletropaulo.

A reciclagem dos resíduos de poda realizada por 42% dos municípios refere-se à utilização desta biomassa em caldeiras como fonte de energia térmica. Esta reciclagem transforma resíduos em biocombustíveis que substituem os tradicionais combustíveis fósseis, como óleo diesel e gás natural. Sendo assim, esta utilização pode até render créditos de carbono para as empresas devido à redução de emissão de CO<sub>2</sub>.

Estes resultados referem-se a um levantamento realizado em cada município por contato com a Secretaria de Meio Ambiente ou Departamento de Obras e Serviços, que se iniciou por meio de questionário e posteriormente realizou-se a visita a cada região para averiguação *in loco*.

Também por meio de pesquisa, a quantidade estimada de resíduos gerados pela AES Eletropaulo ou empresas por ela contratada, nos serviços de poda urbana realizados em sua área de concessão é de 41.300 m<sup>3</sup>/ano ou 962,96 kg/h.

### B. Manejo de Resíduos

De acordo com os dados apresentados na primeira etapa do projeto, se faz necessária a elaboração de uma estratégia para o manejo desses resíduos gerados.

O destino mais nobre para resíduos orgânicos é a compostagem, que tem como objetivo principal a valorização e o reaproveitamento dessa matéria, dando origem a um produto suficientemente estabilizado, designado “composto”, que pode ser aplicado no solo com várias vantagens sobre os fertilizantes químicos de síntese [10]-[12].

É, portanto uma forma de atenuar o problema dos resíduos sólidos urbanos, dando um destino útil aos resíduos orgânicos, evitando a sua acumulação em aterro e melhorando a estrutura do solo, devolvendo à terra os nutrientes de que necessita, aumentando a sua capacidade de retenção de água, permitindo o controle da erosão e evitando o uso de fertilizantes sintéticos [13]. Este processo permite tratar os resíduos orgânicos domésticos (restos de comida e resíduos de jardim) bem como os resíduos provenientes da limpeza de jardins e parques públicos [14].

Os antigos processos de transformação de resíduos orgânicos em adubo consistiam basicamente na formação de montes, que eram revirados periodicamente, para uma maior oxigenação das leiras, que são pilhas nas quais os resíduos são deixados para sofrerem os processos físico-químicos da compostagem. Até os dias atuais, esse método é utilizado em pequenas propriedades [10] e [15].

Como se trata de um processo biológico desenvolvido por microorganismos, há necessidade, de controle sobre alguns fatores. Assim, propiciando para os microorganismos, um ambiente favorável para a degradação, à estabilização e a humificação da matéria orgânica bruta. Além disso, este controle tem como objetivo viabilizar o potencial de fertilização da matéria orgânica e de evitar potenciais fatores adversos que causam impactos ao meio ambiente. Com relação aos fatores a serem controlados, que afetam a compostagem, tem-se: umidade, oxigenação, temperatura, concentração de nutrientes, tamanho da partícula e pH [16].

Assim, após a finalização da primeira etapa de levantamento de dados e visitação aos municípios, realizou-se uma padronização do método de compostagem para que este possa vir a reduzir o problema ambiental de descarte de resíduos e que o produto final sirva como condicionador de solo para nutrição deste.

Para esta etapa de padronização de técnica, houve a distinção entre dois métodos de aeração os quais permitem a troca de ar contido dentro das leiras e o ar exterior: Fase I - revolvimento manual e (figura 2) Fase II - sem revolvimento ou aeração estática pela utilização de túneis de vento (figura 3).

As leiras foram montadas com a utilização de estruturas de sustentação, as quais são retiradas após 20 a 30 dias (dependendo das condições das leiras), quando o material das leiras é revolvido para cima dos túneis de vento, que são retirados apenas no final do processo. Tais túneis de vento são feitos de madeira e telas e foram montados na Oficina do IEE pela equipe do projeto.

A aeração é necessária porque, ao mesmo tempo em que ar novo é introduzido no interior das leiras (rico em oxigênio), ocorre liberação do ar ali contido saturado de gás carbônico, produzido pela respiração dos microorganismos.



Figura 2. Primeira fase dos experimentos: Fase I - leiras com revolvimento



Figura 3. Segunda fase dos experimentos: Fase II - leiras com aeração estática.

Essa renovação é importante, pois o teor de gás carbônico no interior da leira pode chegar a concentrações com vezes maiores que seu conteúdo normal no ar atmosférico [10]. Na falta de oxigênio na leira, há formação e acúmulo de dióxido de carbono e metano, componentes característicos da fermentação anaeróbica, que retarda a degradação da matéria orgânica e é responsável por odores desagradáveis.

Para realização do projeto, foram utilizados dois pátios concretados de 80 m<sup>2</sup> localizados no Projeto POMAR<sup>1</sup>, pertencente à Secretaria do Meio Ambiente do Governo de São Paulo, (um construído e outro cedido pelo Projeto Pomar). Em cada pátio foram montadas 12 leiras (totalizando 24) com quatro tratamentos distintos: sem adição de aditivos (leiras testemunha, apenas com resíduos de poda), e as seguintes fontes de Nitrogênio: Uréia, Esterco, Lodo de ETE desidratado.

O monitoramento do controle da maturação foi realizado de duas maneiras, com métodos locais e análises nos laboratórios especializados da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq), contratados pelo P&D.

O monitoramento *in loco* consistiu nas medições de temperatura do interior das leiras por meio de um termômetro e termopares de 500, 700 e 1000 mm e do pH por meio de um pHmetro adquiridos pelo projeto.

#### a) Temperatura

<sup>1</sup> O Projeto Pomar é um projeto de revegetação das margens do Rio Pinheiros localizado no município de São Paulo, administrado pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo.

A elevação da temperatura é a primeira característica indicadora que a compostagem principia, pois nos dias iniciais, predominam produtos de fácil decomposição microbiológica e, por isso, a atividade é mais intensa, com maior liberação de CO<sub>2</sub> e energia na forma de calor.

Nessa ascensão tem-se inicialmente a fase mesófila com temperaturas até cerca de 40°C, na qual as bactérias são mais eficientes, decompondo mais rapidamente, seguida de outra mais quente denominada termófila, com temperaturas acima de 45°C, na qual os microrganismos patogênicos e as sementes de plantas daninhas são eliminadas com maior segurança [10].

A estabilização da temperatura das leiras da Fase II é mais rápida do que as da Fase I (figura 4). Nas duas fases, a maior parte do tempo, as leiras foram mantidas na Fase mesófila, de decomposição mais rápida.

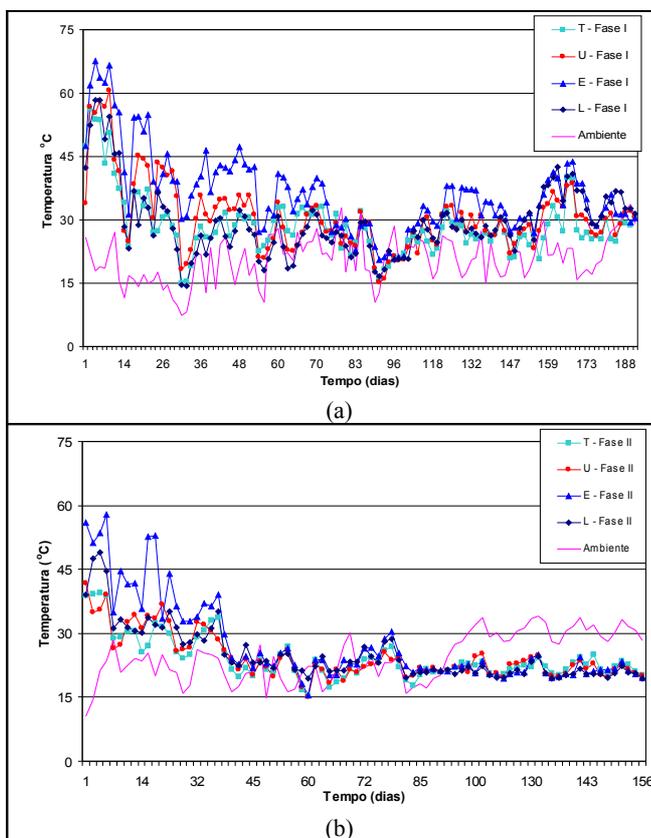


Figura 4. Variação da Temperatura ao longo do processo de compostagem (a) Fase I (b) Fase II.

#### b) pH

Nota-se, na figura 5 que o pH no início é ácido, se eleva à medida que o processo de compostagem se desenvolve, passando pelo pH 7,0 (neutro) e atingindo pH básico. As leiras da Fase II, atingiram pH superior a 8,0 e as da Fase I, em torno de 7,5. Portanto o pH final de todas as leiras demonstra que o processo de decomposição foi eficiente, e que o composto orgânico final está maturado ou humificado.

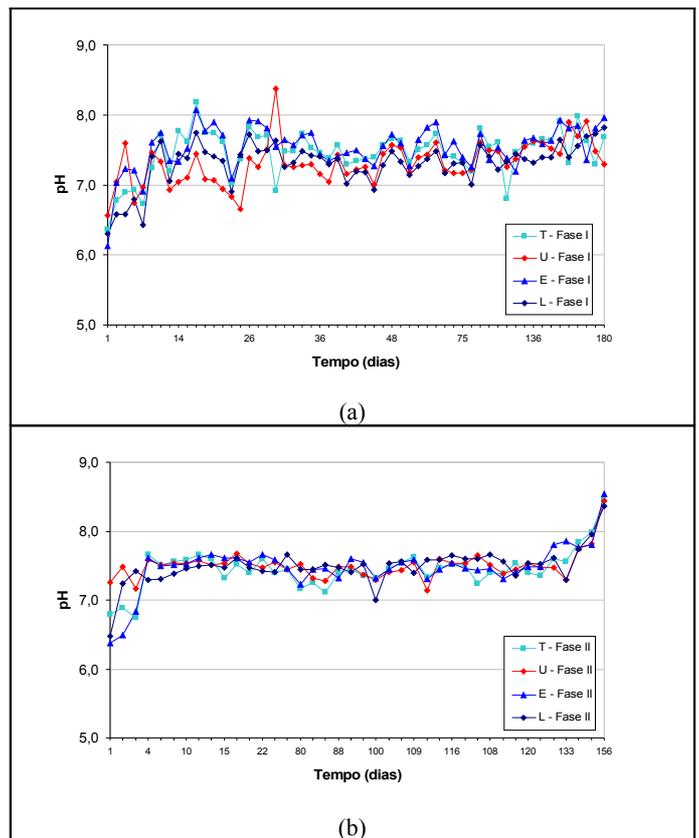


Figura 5. Variação do pH ao longo do processo de compostagem (a) Fase I (b) Fase II.

#### c) Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)

A relação C/N é um indicador do grau de estabilização da matéria orgânica, do ponto de vista ao ataque microbiano, bem como da estabilidade deste material quando colocado no solo [11]. A referência [10] considera produto humificado para relação C/N entre 8/1 a 12/1 e entre 13/1 a 18/1 como produto semicurado ou bioestabilizado, podendo ser utilizado sem risco de causar danos às plantas.

Durante o processo de decomposição das leiras, houve significativa diminuição da relação C/N em função do tempo, como pode ser visto na figura 6. As leiras testemunha foram encerradas com teor relativamente alto (média de 23 e 22, respectivamente para as Fases I e II), não obtiveram relação C/N satisfatória, sendo que estes compostos ainda estão imaturos, podendo ser adicionados ao solo, onde ocorrerá a maturação final, e só depois poderá ser realizada a semeadura ou plantação. Todas as outras leiras produziram compostos orgânicos bioestabilizados.

#### d) Umidade

Nota-se, na figura 7, que as leiras de compostagem mantiveram-se acima dos padrões considerados ótimos, na maior parte do tempo. Mesmo assim, não houve problemas com mau cheiro, nem com a qualidade final do composto orgânico produzido. Desta maneira, é necessário controle mais eficaz da umidade, não ocorrendo a provável lixiviação de nutrientes, o produto final obtido poderia ser de melhor qualidade.

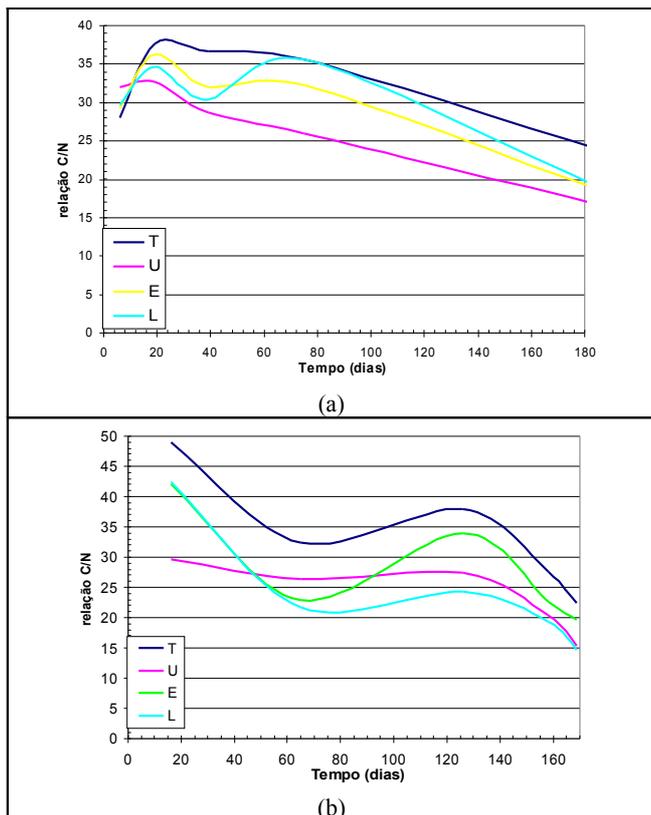


Figura 6. Variação da relação C/N ao longo do processo de compostagem (a) Fase I (b) Fase II.

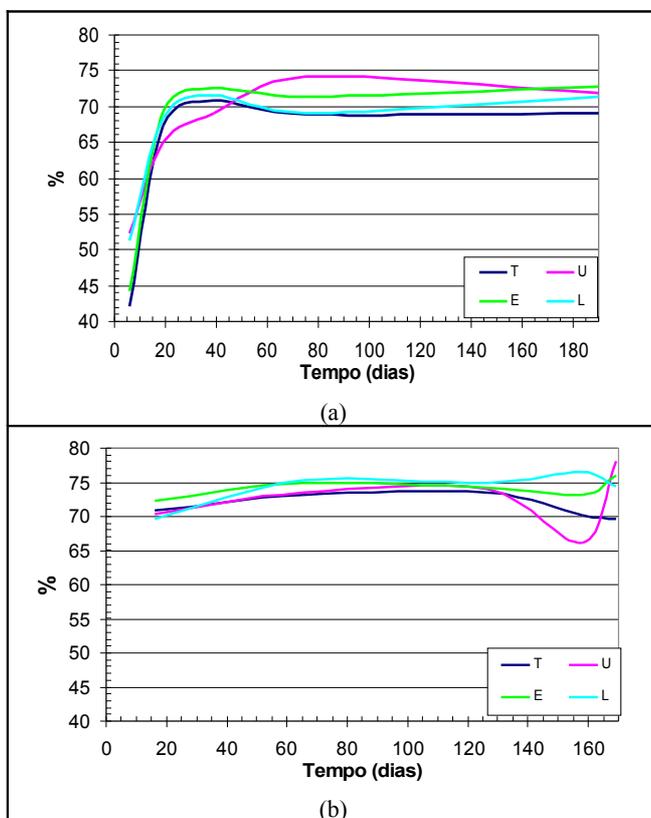


Figura 7. Variação da Umidade Total ao longo do processo de compostagem (a) Fase I (b) Fase II.

#### e) Macronutrientes e Micronutrientes

Os teores dos macronutrientes (Nitrogênio, Fósforo, Potássio, Cálcio, Magnésio e Enxofre) e micronutrientes (Boro, Cobre, Ferro, Manganês, Sódio e Zinco) variam com o decorrer do processo de compostagem. Os macro e micronutrientes são essenciais na fase final do composto (humificação) devido seus efeitos de melhoramento de nutrição das plantas por micronutrientes na forma de quelatos, liberação lenta de Fósforo, Nitrogênio, Enxofre e água, solubilização de nutrientes nos solos minerais e outros efeitos.

As tabelas I e II mostram a variação percentual de enriquecimento dos micro e macronutrientes, bem como a composição final. O aumento da concentração de nutrientes que ocorre com o processo de compostagem se deve ao fato de que durante o processo há grande perda de Carbono na forma de Dióxido de Carbono, ocasionando um aumento relativo da concentração dos elementos inorgânicos [10].

Tabela I. Resultados dos micronutrientes

tipo	total micronutrientes B, Cu, Fe, Mn, Na e Zn (mg/kg)		variação percentual (%)		
	Fase I	Fase II	Fase I	Fase II*	Fase II**
T	4.436	8.651	106	61	180
U	4.453	11.221	211	16	193
E	4.580	6.899	319	25	344
L	7.600	21.136	440	76	852

\* em relação aos 30 dias de decomposição finais da Fase II  
\*\* em relação aos resultados iniciais da Fase I

Tabela II. Resultados dos macronutrientes

tipos	total macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, e S (% em peso)		variação percentual (%)	
	FASE I	FASE II	FASE I	FASE II
T	6,96	6,91	39,2%	18,8%
U	8,60	9,15	56,4%	32,9%
E	9,24	8,41	40,5%	39,2%
L	8,80	9,18	47,5%	41,7%

De acordo com a Instrução Normativa nº35, de 4 de julho de 2006 que complementa o Decreto nº 4.954 de 14 de janeiro de 2004 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), os compostos orgânicos obtidos são condicionadores de solo classe A (leiras testemunha, de esterco e de uréia) e classe D (lodo).

Por definição, condicionador de solo é “produto que promove a melhoria das propriedades físicas, físico-químicas ou atividade biológica do solo, podendo recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente”.

A tabela III apresenta um resumo das características observadas dos condicionadores de solo produzidas na usina experimental de compostagem do P&D para comparação junto a Instrução Normativa nº35 de 4 de julho de 2006.

Tabela III. Características dos condicionadores de solo produzidas na usina experimental de compostagem do P&amp;D.

Tipo / Fase	pH		Carbono Orgânico (%)		N (%)		NPK (%)		Relação C/N		Umidade Total (%)		CTC (mmol c/dm <sup>3</sup> )
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	II
T	7,3	7,4	36,8	37,0	1,94	2,15	2,61	2,97	23/1	22/1	69,1	69,7	237,8
U	7,4	7,6	36,8	34,9	2,73	2,87	3,84	3,9	16/1	15/1	71,9	78,0	371,3
E	7,5	7,7	36,6	36,8	2,59	2,62	4,44	3,32	18/1	18/1	72,7	75,9	376,0
L	7,1	7,1	36,7	34,9	2,37	2,78	3,88	4,23	18/1	15/1	71,5	74,3	-x-
<b>Instrução Normativa nº35 de 4 de julho de 2006</b>													
Classe A	6,0		Mín 15		1		Conforme declarado		Máx 18		Máx 50		Mín 200
Classe D	6,0		Mín 15		1		Conforme declarado		Máx 18		Máx 70		Mín 200

Fonte: Elaboração própria a partir da IN 35 de 04/07/2006 (MAPA)

Baseado em todos os parâmetros das especificações mínimas vigentes para condicionadores de solo (Instrução Normativa nº 4 de 2 de agosto de 2.004), destaca-se que a umidade total máxima, que deveria ser 50%, não foi atingida nesse processo de compostagem.

O controle da umidade não foi realizado da maneira mais adequada, utilizando-se mais água do que o necessário. Sugere-se que em próximos trabalhos as leiras com revolvimento (Fase I), sejam umedecidas sempre juntamente com a operação de revolvimento. No caso das leiras da Fase II (túnel de vento), que não são revolvidas, talvez o aumento do tamanho das leiras, ajudasse a manter a umidade das leiras em níveis adequados, e conseqüentemente a umidade do condicionador de solo.

Não houve diferenças significativas nos condicionadores de solo obtidos, em função dos aditivos e tratamentos. Os parâmetros como NPK, N, pH, relação C/N e matéria orgânica se encontram dentro da normativa para o composto produzido na usina experimental de compostagem, com exceção da relação C/N para os tratamentos testemunhas, mas que já era de se esperar devido à escassez de nitrogênio desse tratamento controle.

Não há como concluir qual é o melhor aditivo, pois há variações de acordo com o parâmetro avaliado, mas levando-se em conta o enriquecimento de macro e micro nutrientes, pode-se considerar o seguinte ranking: lodo, esterco, uréia e testemunha.

Acredita-se que o método aerado ou estático não influencia, neste enriquecimento (os resultados inferiores podem ser conseqüência de muita chuva, e possível lixiviação dos nutrientes).

Realizou-se pesquisa de mercado e notou-se que muitos condicionadores de solo são comercializados sem a menção das especificações técnicas do produto. Pensando nisso, em 5 de março de 2008, a Portaria nº 42 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, iniciou uma consulta pública para atualizar e estabelecer as definições e normas sobre as especificações, as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos sim-

ples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

Assim, espera-se que em pouco tempo haja a estruturação de uma nova instrução que contemple todas as visões e regule as características que permeiam este setor.

Também, preocupados com a qualidade dos compostos orgânicos produzidos, comercializados e usados no Brasil, há alguns anos, um grupo formado por pesquisadores brasileiros da Embrapa, USP, Unicamp e IAC criou um software denominado SIRCLUA – Sistema Inteligente para Recomendação ao Uso de Composto de Lixo Urbano na Agricultura, o qual estabelece um sistema de análise dos compostos orgânicos indicando quais substâncias estão presentes e fornece indicações para seu uso na agricultura [9].

O objetivo do SIRCLUA é equilibrar a capacidade do composto orgânico de fornecer nutrientes para o solo onde a cultura será desenvolvida, considerando as necessidades nutricionais das plantas e a qualidade dos produtos agrícolas que serão produzidos [9].

A intenção dos idealizadores do SIRCLUA é oferecer o programa gratuitamente, para que ele possa ser acessado via internet pelas usinas de compostagem e pelos agricultores em geral. Este seria um instrumento valioso para a melhoria do composto orgânico produzido no país e conseqüentemente, a utilização mais consciente por parte do agricultor, e a moralização deste mercado [9].

### III. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

O valor agrícola dos compostos orgânicos está comprovado, porém seu valor comercial não está efetivamente descrito e ainda não há políticas de preços para este tipo de fertilizante [17].

O conhecimento do valor comercial do produto é importante para o planejamento dos custos de investimentos e operacionais de uma usina de compostagem. Para tal, primeiramente, utilizou-se o método de valoração que atribui o valor comercial dos nutrientes NPK dos compostos orgânicos em relação ao valor comercial de fertilizantes minerais [10] e amplamente utilizado. O N (Nitrogênio) é relacionado à

uréia, o Fósforo (P) ao Superfosfato Simples e o Potássio (K) ao Cloreto de Potássio.

A Matéria Orgânica (M.O.) pode ser valorada de duas maneiras. Na primeira, calcula-se o valor do NPK do composto e atribui-se 50% deste valor para a M.O. No segundo método, a M.O. é valorada em relação a algum insumo rico em matéria orgânica como farelo de mamona ou cama de frango. Neste caso, utilizou-se farelo de mamona.

Na tabela IV é possível identificar os resultados da valoração de todos os condicionadores de solo obtidos nas duas Fases do projeto, para todos os tratamentos. Em comparação com pesquisa de preços realizada no mercado (R\$75,00 a R\$ 180,00 por tonelada), os valores obtidos no método 1 estão dentro de uma faixa aceitável.

Tabela IV. Valoração dos condicionadores de solo das Fases I e II (NPK e M.O.)

Fase	Condicionador	Método 1	Método 2
I	T	R\$ 129,24	R\$ 483,73
	U	R\$ 186,80	R\$ 515,80
	E	R\$ 235,61	R\$ 555,13
	L	R\$ 208,37	R\$ 514,19
II	T	R\$ 152,00	R\$ 507,95
	U	R\$ 195,56	R\$ 518,18
	E	R\$ 170,28	R\$ 518,74
	L	R\$ 229,95	R\$ 502,08

Também, efetuou-se o cálculo da quantidade de condicionador de solo produzido necessária para fornecer a mesma quantidade de NPK que uma tonelada de fertilizantes minerais nas formulações (4-14-8), (10-10-10) e (4-20-20).

De acordo com informações coletadas no mercado para comparação de valor, o agricultor gastaria em torno de R\$ 1.134,00; R\$ 1.168,00 e R\$ 1.736,00 a preços médios de março de 2008 para estas respectivas configurações de produto.

O custo médio de se utilizar composto orgânico é de R\$ 1.397,63, representando em média 23,3% a mais do que o uso de fertilizantes minerais (4-14-8) que forneceriam a mesma quantidade de NPK ao solo, R\$ 1.637,42 (40,2%) para os fertilizantes minerais (10-10-10) e R\$ 2.354,41, (35,6%) a mais do que o uso de fertilizantes minerais (4-20-20)

Assim, de acordo com a referência [10], a adubação com composto orgânico proporciona ao solo, propriedades e características que nenhum fertilizante mineral consegue, pois esses não contêm matéria orgânica, podendo explicar essa variação na valoração do composto e apresentar a sua viabilidade de produção.

A partir da obtenção dos resultados da valoração do composto produzido foi realizada a análise econômica, mostrando os gastos com a produção do composto e a sua viabilidade de no mercado.

Adotou-se uma metodologia de análise para facilitar e dividir os custos, caso algum dos municípios ou indústria tenha o interesse de implantar projetos desta natureza.

Para realização da análise econômica do projeto, fizeram-se 16 cenários diferentes (4 tratamentos, 2 tipos de aeração, 2 casos - com e sem subsídios da AES Eletropaulo).

Os custos relacionados como subsidiados pela AES, estavam relacionados principalmente a equipamentos e serviços. A análise econômica se refere à implementação do projeto e manutenção até a produção do composto final. Para a metodologia do pátio com revolvimento manual considerou-se 6 meses de projeto para a obtenção do produto final, enquanto que para o pátio com leiras utilizando túneis de ventos foram considerados 5 meses de projeto.

A análise foi dividida entre investimento inicial (implementação do projeto) e custos de manutenção. Além disso, baseado no possível consumo de fertilizantes por municípios ou indústrias, optou-se por realizar uma variação no projeto experimental para que houvesse uma maior produção de composto final.

#### A. Investimento Inicial

##### • Triturador

Nos cenários em que não foi considerado o subsídio da AES Eletropaulo, há a necessidade de incluir o gasto com a aquisição do triturador, para que os resíduos sejam triturados a fim de acelerar o processo de compostagem. É notável a importância do equipamento, principalmente, quando se diminui o tamanho do material triturado (variações na lâmina de corte do equipamento), pois aumenta a superfície de contato na qual os microorganismos irão atuar, acelerando o processo de decomposição.

##### • Construção do pátio concretado

Para realização do projeto foi necessária a construção de um pátio de compostagem, para que o solo não fosse contaminado pelo chorume das leiras.

Porém, há de se notificar que as condições escolhidas para a construção do pátio inicial se referiam a um trabalho experimental. Para que houvesse uma maior produção de material compostado, algumas alterações foram necessárias. Sendo assim, optou-se pela construção de um pátio de 960 m<sup>2</sup>, que acomodasse oito leiras de 18mx3m

##### • Material para estrutura das leiras

Compreende os gastos com a construção dos túneis de vento como sarrafos de madeira, ferros, parafusos, pregos, tela, lonas, entre outros.

##### • Bomba 0,75 CV (Chorume)

Com a construção do pátio para acomodação das leiras é necessária a instalação de um sistema de captação e reuso do chorume, líquido rico em carga orgânica, o qual acelera o processo de compostagem.

Por se tratar de um trabalho experimental o projeto de P&D não utilizou o chorume, pois foi realizada análise comparativa entre os tratamentos e seria inviável a construção de um sistema de reuso para cada tipo de tratamento.

Assim, para análise econômica foi incluído o custo de uma bomba de 0,75 CV, com sistema anti-entupimento para que o chorume fosse bombeado e reutilizado sobre as leiras.

- Equipamentos de manutenção

Neste item estão relacionados os custos com equipamentos como: pás, enxadas, rastelos, vassouras, carrinhos de mão, peneiras, entre outros. Materiais imprescindíveis para montagem e manutenção das leiras.

- Equipe para montagem das leiras

Para montagem das leiras é necessária a mão-de-obra de 12 pessoas, pelo menos no primeiro mês, no qual há a montagem das estruturas e manejo dos resíduos. Foi fixado o custo de R\$ 830,00 para cada funcionário, incluindo as despesas com impostos.

#### B. Custos de manutenção

- Abastecimento de água

A previsão da quantidade necessária de água para manter as leiras com umidade de 60% durante a compostagem é 257,5 litros (leiras testemunha), 241 litros (lodo), 294 litros (esterco) e 260 litros (Uréia).

Foi considerado que as leiras seriam umedecidas uma vez por semana com a água do sistema de abastecimento do município (taxa de R\$ 5,78 por m<sup>3</sup>, conforme dados da Sabesp) e mais duas vezes por semana com o próprio chorume. A utilização do chorume, ou a utilização de água residual ou de chuva, pode até isentar totalmente este custo.

- Equipamentos de Proteção Individual (EPI's)

Foram considerados os custos com EPI's como botas, óculos, luvas de raspa, luvas descartáveis, entre outros.

- Mão-de-obra para manutenção das leiras

Para manutenção e revolvimento das leiras é necessária a contratação de mão-de-obra. Novamente foi considerado o custo de R\$ 830,00 por funcionário, de acordo com a quantidade de meses de trabalho (6 meses para o pátio com revolvimento manual e 5 meses para o pátio com túnel de vento).

Além disso, há outra variável com relação à quantidade de funcionários, sendo que existe uma maior necessidade de força de trabalho no pátio com revolvimento manual, haja vista o revolvimento semanal, em média, das leiras de compostagem.

- Custo do aditivo – Uréia

Para realização deste tipo de tratamento, foi necessária a compra de uréia industrializada como aditivo.

- Combustível para o triturador

De acordo com o modelo cotado de triturador, é sabido que o mesmo utiliza cerca de 20 litros de gasolina para triturar cerca de 10 toneladas de material. Sabendo que para a construção das leiras serão utilizados aproximadamente 78 toneladas de resíduos de poda, serão aproximadamente 160 litros de combustível a um custo de R\$ 2,50 por litro.

- Transporte do material de poda

Nos cenários em que não há subsídio da AES Eletropaulo para o transporte de resíduos de poda, foi cotado o carro de caminhões para transporte de 2 toneladas por vez, no valor de R\$ 240,00. Vale lembrar que serão utilizados aproximadamente 78 toneladas de resíduos de poda para montagem das leiras.

- Transporte do aditivo – Lodo

Para utilização deste tipo de tratamento não há custo para aquisição do insumo na Estação de Tratamento de Esgoto da Sabesp (Barueri), porém é necessário o transporte deste material.

- Transporte do aditivo – Esterco

Também para utilização deste tipo de tratamento não há custo para aquisição do insumo no Jockey Club de São Paulo, porém é necessário o transporte deste material.

- Embalagens para o produto final

Após a finalização da compostagem houve o custo das embalagens que facilitam o transporte e o armazenamento do material.

- Análise de Laboratório - Composto final

Se o objetivo da realização da compostagem for a venda do produto, é necessário o cumprimento da Instrução Normativa nº35, de 4 de julho de 2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e da Secretaria de Defesa Agropecuária, que consiste na realização de análises gerais do composto orgânico, como por exemplo, pH, macro e micronutrientes, capacidade de troca catiônica, capacidade de retenção de água, entre outras.

A partir dos cenários obtidos é possível verificar que os subsídios da AES se tornam extremamente positivos para redução de custos, revelando uma economia de 36% nos casos de metodologia com leiras de revolvimento manual e aproximadamente 40% nos casos da metodologia com o túnel de vento.

Isto pode ser explicado se observado o custo do triturador de material de poda, que chega a representar quase 70% do orçamento para investimento inicial.

Além disso, é possível distinguir os gastos entre investimento inicial e custo de manutenção (figura 8), observando que o custo de investimento inicial é maior do que o custo para manutenção.

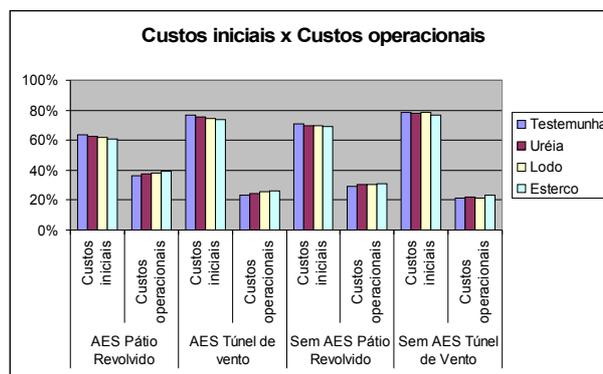


Figura 8. Proporção entre investimento inicial e custos de manutenção

A figura 9 indica a relação de custo total para a produção do composto final, na qual é verificada que os custos utilizando a metodologia dos túneis de vento são menores. A metodologia que utiliza os túneis de vento pode ser considerada mais competitiva para o preço final do composto, pois apesar de ter um gasto extra com materiais para a confecção do túnel, este valor não se mostra significativo quanto com-

parado com a quantidade de mão-de-obra e tempo de maturação dos casos que utilizam revolvimento manual das leiras.

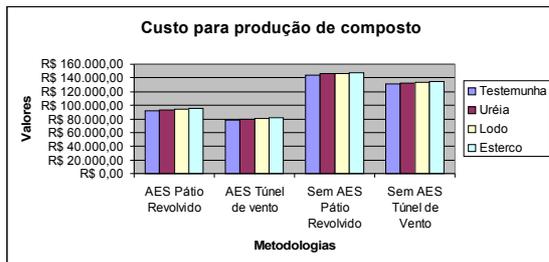


Figura 9. Comparação de custos para produção do composto final

Após analisar a figura 9 é possível concluir que não há diferença significativa entre os valores com relação aos tratamentos adotados, ou seja, não importando qual seja o tratamento o custo será aproximadamente igual.

Porém, o tratamento mais oneroso é o que utiliza lodo de ETE desidratado, por conta do custo do seu transporte que necessita de características especiais. Além disso, este tipo de tratamento ainda tem a desvantagem competitiva no mercado de venda, por conta da resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), nº 375/2006, que restringe sua utilização em certos cultivos e campos.

A partir dos dados relacionados referentes aos custos de manutenção, descontando o investimento inicial, obteve-se o valor de produção por tonelada de cada composto final nos diferentes tratamentos e na ausência ou presença de subsídios.

Assim, baseado no cálculo utilizando a metodologia 2 de valoração do composto, observou-se que o custo de produção foi viável para a produção de composto com subsídio da AES e usando o pátio de túneis de vento, com exceção do tratamento com lodo.

Os valores utilizando essa metodologia no pátio para os três orçamentos permaneceram de R\$ 484,60 a R\$ 521,70, enquanto que na metodologia de valoração nº2, os valores estiveram de R\$507,95 a R\$ 518,74.

No entanto, há de se esclarecer que um dos principais quesitos para o encarecimento da produção está relacionado com a demanda de mão-de-obra, que por vezes chega a representar quase 90% do custo de manutenção no pátio com revolvimento manual de leiras, e cerca de 70% nos casos com utilização de túneis de vento.

Para os funcionários calculou-se o valor de um salário mínimo mais os encargos, ou seja, projetou-se a participação em período integral para manutenção das leiras, porém sabe-se que não é necessário um acompanhamento tão direto deste processo.

No período de manutenção, a demanda por trabalho fica restrita ao revolvimento das leiras, quando necessário, e umedecimento das mesmas. Assim, caso haja interesse de prefeituras e outros setores, poderia haver um remanejamento temporário do quadro de funcionários para atender às demandas desse processo, aumentando a viabilidade da produção de composto, tornando seu valor de venda semelhante aos praticados no mercado e de acordo com a metodologia 1 de valoração do composto orgânico.

#### IV. UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS DE PODA COMO FONTE ENERGÉTICA

Além da avaliação econômica quanto ao valor comercial do composto, é possível estimar a viabilidade do uso de resíduos de poda para geração de energia térmica. No Brasil, 25,5% em média da energia necessária para gerar o calor das caldeiras e fornos das indústrias, vem da biomassa (extração vegetal de diversos gêneros, como a lenha, que algumas vezes é adquirida ilegalmente, e o bagaço de cana) [18].

Até poucas décadas, a madeira era a principal fonte de energia primária no Brasil, quando, no século passado, ou mais exatamente durante a década de 1970, ela foi suplantada pelo petróleo e, em seguida, pela hidroeletricidade. A participação da madeira no balanço energético brasileiro veio decrescendo ao longo do tempo, sobretudo porque houve um incentivo maior para o uso de derivados de petróleo e hidroeletricidade, para atendimento das novas demandas energéticas.

Nos últimos dez anos, contudo, pode-se constatar uma forte reversão nessa tendência, que talvez esteja sendo motivada pelas incertezas quanto à oferta de outras fontes e, sobretudo, pelas vantagens econômicas e oportunidades ambientais e estratégicas oferecidas pelo uso da madeira como fonte de energia [19].

Do ponto de vista técnico, na fotossíntese, a energia solar é necessária para que a planta use a água e nutrientes que retira do solo e o gás carbônico absorvido do ar, transformando em glicose, celulose e outros, desprendendo por sua vez o oxigênio para a atmosfera. O processo inverso é a oxidação desta matéria, seja por queima, biodegradação ou outro processo, consumindo desta forma o oxigênio do ar e liberando água, gás carbônico, nutrientes e energia [20].

Sendo assim, é possível identificar os meios para obtenção de energia a partir da biomassa. Para isso, uma das primeiras características analisadas é o poder calorífico dos materiais. O poder calorífico de um combustível, (cuja unidade é expressa em kcal/kgf) é a quantidade de calor, em quilocalorias (kcal), desprendido durante a reação de oxidação de um quilograma-força (kgf) do mesmo [21].

A análise realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo determinou o Poder Calorífico dos resíduos de poda, conforme Tabela V.

Tabela V. Análise do poder calorífico dos resíduos de poda

Características	Valor	Varição
Umidade (% massa)	51	± 4
Hidrogênio (% massa)	6	± 0,1
Enxofre Total (% massa)	0,17	± 0,01
Poder Calorífico (kcal/kg)		
Superior	4.500	
Inferior	4.300	

Fonte: Ensaio do material de poda nº 952315-203 do Instituto de Pesquisas Tecnológicas/SP (24/01/2007)

Assim, a partir do valor do poder calorífico, é possível estimar qual a capacidade de geração de energia dessa biomassa. Sendo 41.300 m<sup>3</sup>/ano ou 962,96 kg/h, a quantidade estimada de resíduos de poda urbana gerados pela AES Eletropaulo e as empresas por ela contratadas, a partir de cálculos termodinâmicos, obteve-se a geração de 5,1 toneladas de va-

por hora, com a utilização de uma caldeira que opera a 21 bar e 300°C.

O vapor é o fluido mais utilizado nos processos industriais depois da água. Ele pode ser usado para geração de energia decorrente da utilização do vapor superaquecido de média ou alta pressão; controle de temperatura em reações químicas; auxiliar no processo de destilação; aquecimento do meio ambiente na área de conforto térmico; agente de limpeza e higienização e acelerador das limpezas alcalinas e ácidas.

Além da geração da energia térmica através da biomassa, é possível, em decorrência desta, a geração de energia elétrica através de turbinas e geradores, porém sugere-se, para o futuro, um P&D que avalie a capacidade de geração (em MW), de acordo com a quantidade de resíduos usados na caldeira.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Acredita-se que, com os resultados finais deste projeto, foi possível mapear a situação dos municípios da área de concessão da AES Eletropaulo, com relação ao aspecto ambiental da destinação dos resíduos de poda urbana gerados pela AES Eletropaulo e suas contratadas.

O estudo experimental da usina de compostagem mostrou que as leiras com aeração estática decompõem de maneira mais rápida que as leiras com revolvimento manual, obtendo-se assim, uma metodologia eficaz para o processo de compostagem, levando em consideração os aspectos de manejo de resíduos, além das características físico-químicas dos compostos finais obtidos.

A avaliação econômica também mostra que as leiras com aeração estática possuem custos operacionais menores, e, portanto, mais viáveis economicamente.

A implementação desse método de compostagem em municípios que ainda não o realizam, auxiliando na infra-estrutura e treinamento de funcionários, é uma opção muito saudável.

Por fim, a execução do projeto baseado nos conceitos de responsabilidade ambiental e social se interliga com as projeções de desenvolvimento sustentável da RMSP, auxiliando os setores civil, público e privado, assegurando a diminuição de impactos ambientais e podendo aumentar a geração de recursos para a região.

## VI. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Secretaria de Meio Ambiente do Governo do Estado de São Paulo pela cessão da área do projeto Pomar para a instalação da usina experimental de compostagem deste projeto de P&D.

## VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. E. Mello Filho, "Arborização urbana". In: *Encontro Nacional sobre arborização Urbana, 1.*, Porto Alegre, 1985. Anais: Porto Alegre: Secretaria Municipal de Meio Ambiente, 1985, p. 117-127.
- [2] G. D. N. Velasco, *Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos*. Piracicaba, 2003. 94 p.
- [3] A. Palermo Jr., "Planejamento da arborização urbana visando a eletrificação e as redes de distribuição". In: *Encontro Nacional*

- de Arborização Urbana, 2.*, Maringá, 1987. Anais. Maringá: Prefeitura do Município de Maringá, 1987. p. 68-71
- [4] AES Eletropaulo. 2007. [Online]. Disponível em: [www.eletropaulo.com.br](http://www.eletropaulo.com.br)
- [5] Cenbio, 3º Relatório parcial do projeto Fortalecimento Institucional do Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2007.
- [6] SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE, *Gerenciamento de Resíduos sólidos: uma visão de futuro*, 80p. São Paulo: SMA, 2005.
- [7] P. C. Schenini; J. N. e Benedet, "Adoção de um SGA- Sistema de Gestão Ambiental na Construção e Manutenção de Redes e Linhas de Distribuição de Energia Elétrica". Apresentado no Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 2004. [Online]. Disponível em: [http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac\\_2004/081.pdf](http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/cobrac_2004/081.pdf)
- [8] S. M. Tauk, *Análise Ambiental: Uma visão multidisciplinar*. São Paulo: Unesp, 1991, p. 206.
- [9] L. P. Barreira, "Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção", Tese (Doutorado), Faculdade de Saúde Pública. Universidade de São Paulo, 187p., 2005.
- [10] E. J. Kiehl, *Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto*. Piracicaba, 1998.
- [11] L. L. Fialho, W. T. L. Silva, D. M. B. P. Milori, M. L. Simões, L. M., NETO, Circular técnica: *Monitoramento químico e físico do processo de compostagem de diferentes resíduos orgânicos*. São Carlos: Embrapa, 2005.
- [12] S. Campbell, *Manual de Compostagem para Hortas e Jardins*. São Paulo: Nobel, 1995.
- [13] Associação de Municípios Cova da Beira. Central de Compostagem, 2006. [Online]. Disponível em <http://www.amcb.pt/>
- [14] GEA - Grupo de Estudos Ambientais da Escola Superior de Biotecnologia, 2004. [Online]. Disponível em <http://www.escolasverdes.org/compostagem/compost/intro2.html>
- [15] V. Schalch, L. W. C. Almeida, E. M. Aguiar, "Gerenciamento integrado de resíduos sólidos". In: *Anais do World - Wide Symposium Pollution in Large Cities - science and Technology for Planning Environmental Quality*; 1995 febr 22-25; Venice/Padova, Italy. ANDIS; 1995. p.311-318.
- [16] J. T. Pereira Neto, *Quanto vale o nosso lixo*, Belo Horizonte: IEF, 1999.
- [17] L. C. Azevedo, "Estudo ambiental/econômico do composto orgânico do sistema de beneficiamento de resíduos sólidos urbanos da usina de Irajá, município do Rio de Janeiro". Dissertação Mestrado. Pós graduação em Geociências da Universidade Federal Fluminense. Área de Concentração: Geoquímica Ambiental, 2000.
- [18] EPE - Empresa de pesquisas energéticas - Ministério de Minas e Energia (BRASIL). *Balanço Energético Nacional 2006* (ano base 2005) Disponível em [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br). Acesso em jan. 2007.
- [19] BRITO, J.O. O uso energético da madeira. *Estudos Avançados*, jan./abr. 2007, vol.21, n.59, p.185-193
- [20] ODUM, H. T. Energy, environment and public policy. UNEP, n.95, 109p, 1988.
- [21] RIEDIGER, B. Combustíveis, combustão e carburação. In: SASS, F.; BOUCHÉ, C.; LEITNER, A. *Manual do Engenheiro Mecânico* - Dubbel. 13ª ed. São Paulo: Hemus, tomo I, segundo volume, 1974