

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**CARACTERIZAÇÃO ENERGÉTICA E NUTRICIONAL DO CULTIVO
DE EUCALIPTO (*Eucalyptus grandis*) COM E SEM COMPOSTO
ORGÂNICO DE LIXO URBANO**

CARLOS ROBERTO MOREIRA

Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. Iraê Amaral Güerrini

Co-Orientador: Prof. Dr. Marco Antônio Biaggioni

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Doutor
em Agronomia – Área de Concentração:
Energia na Agricultura.

**Botucatu – SP
Agosto – 2004**

“A fé é uma escalada de uma montanha, que ao homem comum se afigura sem sentido, mas àquele que se mantém na aventura aparece como o único caminho que ele não gostaria de trocar por nenhuma comodidade”

Joseph Ratzinger

Dedico,
A Deus, pela vida
À minha esposa Elis,
pelo amor, incentivo e apoio.
Aos meus filhos, Leonardo e Lucas, pela alegria de tê-los
compartilhando comigo esta conquista.
Aos meus pais Avelino e Doralina,
pela confiança.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Iraê Amaral Güerrini pela confiança e oportunidade, por ter compartilhado seu conhecimento, pela orientação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Marco Antônio Biaggioni por ter dedicado seu tempo, pelas informações preciosas e pela co-orientação e ajuda nos momentos difíceis.

A todos os Professores da FCA/UNESP em especial, ao Prof. Dr. Ângelo Caetano, pelas orientações na análise estatística e ao Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças por sua liderança a frente da coordenação do curso.

A todos os técnicos dos laboratórios do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do solo, FCA/UNESP, pelo profissionalismo.

A todos os funcionários da biblioteca da FCA, pela apoio e carinho.

Ao amigos Ricardo Marques Barreiros e Jair Siqueira pela ajuda no encaminhamento deste trabalho.

A Cia. Suzano Papel e Celulose pela colaboração, facilidade e parceria pra a realização do presente estudo, em especial, ao Engenheiro Gava e seu pessoal técnico.

A CAPES – Coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior pela bolsa concedida durante parte do curso.

A todos os colegas que de uma forma ou de outra colaboraram nesta empreitada, pela amizade e pelas horas de estudo compartilhadas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VI
1. RESUMO.....	1
2. ABSTRAT.....	2
3. INTRODUÇÃO.....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1 A produção do lixo.....	5
4.2 O uso do composto orgânico de lixo urbano em plantios florestais.....	8
4.3 A ciclagem e exportação de nutrientes.....	10
4.4 Conceitos do uso de energia na agricultura.....	12
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 Localização e descrição da área.....	18
5.2 Delineamento experimental.....	19
5.3 Descrição dos tratamentos e caracterização da adubação.....	20
5.4 Quantificação da biomassa e do estoque de nutrientes.....	22
5.5 Análise química do solo e da parte aérea das plantas.....	25
5.6 Metodologia para cálculo do consumo energético.....	26
5.6.1 Composto orgânico.....	27
5.6.2 Transporte dos insumos agrícolas.....	28
5.6.3 Fertilizantes.....	28
5.6.4 Defensivos.....	29
5.6.5 Combustíveis e lubrificantes.....	29
5.6.6 Mão-de-obra.....	30
5.6.7 Mudas.....	31
5.6.8 Máquinas e implementos agrícolas.....	32
5.6.9 Eficiência energética.....	33
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
6.1 Avaliação nutricional.....	34

6.1.1 Produção de matéria seca.....	34
6.1.2 Teor de elementos minerais.....	37
6.1.3 Conteúdo de elementos minerais.....	39
6.1.4. Acúmulo de serapilheira.....	41
6.1.5 Entrada e saída de nutrientes.....	43
6.2 Avaliação energética.....	44
6.2.1 Energia total de entrada.....	45
6.2.2 Consumo de energia com tratores e implementos agrícolas.....	48
6.2.3 Produtividade de madeira e eficiência energética.....	50
7 CONCLUSÃO.....	52
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Detalhamento experimental utilizado para avaliação nutricional.....	20
2. Características do composto de lixo urbano utilizado.....	21
3. Identificação das árvores amostradas, DAP, altura total e comercial, nos tratamentos com e sem composto orgânico de lixo urbano.....	23
4. Número de árvores por classe de diâmetro, número de falhas e número de árvores por hectare, nos tratamentos com e sem composto.....	25
5. Caracterização química do solo do experimento, plantio e colheita (0-20cm).....	26
6. Máquinas e implementos, peso e vida útil, energia específica, operações e consumo horário, nos tratamentos com e sem composto.....	32
7. Análise de variância aplicada a quantidade de matéria seca de <i>Eucalyptus grandis</i> , nos tratamentos com e sem composto, considerando as classes de diâmetros.....	34
8. Análise de variância aplicada a quantidade de matéria seca de <i>Eucalyptus grandis</i> , nos tratamentos com e sem composto, considerando as classes de diâmetros e suas interações.....	35
9. Quantidade de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) nos compartimentos de <i>Eucalyptus grandis</i> , nos tratamentos com e sem composto, considerando as classes de diâmetros.....	35
10. Produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cada componente de eucalipto, com e sem composto de lixo urbano, e seus respectivos percentuais em relação ao total.....	36
11. Concentração média de macronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.....	37
12. Concentração média de micronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.....	38
13 Conteúdo médio de macronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.....	40
14. Conteúdo médio de micronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.....	41

15. Teores médios de nutrientes na serapilheira de eucalipto, por tratamento.....	42
16. Conteúdo médio de nutrientes na serapilheira de eucalipto, por tratamento.....	42
17. Balanço nutricional da cultura do eucalipto, com a entrada e a saída de nutrientes, nos tratamentos com e sem composto.....	43
18. Nutrientes mantidos no campo após a colheita, nos resíduos culturais (folhas, galhos e casca), na serapilheira e no solo, nos tratamentos com e sem composto.....	44
19. Consumo de energias direta e indireta na produção de eucalipto, durante o ciclo de 9 anos, nos tratamentos com e sem composto.....	45
20. Consumo de energia pelos fatores de produção envolvidos nas atividades de produção do eucalipto, nos tratamentos com e sem composto.....	46
21. Consumo de energia indireta das máquinas, nos tratamentos com e sem composto, nas três fases de produção do eucalipto.....	48
22 Consumo de Energia indireta dos implementos, nos tratamentos com e sem composto, considerando as três fases de produção do eucalipto.....	49

1. RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma avaliação nutricional e energética do uso do composto de lixo urbano em *Eucalyptus grandis*, aos 9 anos de idade, em relação a adubação química convencional. O delineamento experimental foi realizado em parcelas subdivididas, com dois tratamentos, com e sem composto, sendo alocadas aleatoriamente três parcelas por tratamento, com área de 100 m². As árvores foram subdivididas em 4 classes de diâmetro e, a partir da distribuição diamétrica, foram selecionadas, aleatoriamente, 8 árvores por parcela, duas por classe de diâmetro, para avaliação da produção de matéria seca e estoque de nutrientes, num total de 48 árvores. Na avaliação energética, foram quantificadas as entradas e saídas de energia, para o cálculo da eficiência energética em cada tratamento. A adição do composto influenciou significativamente, no aumento do conteúdo de N, P no tronco e K na casca, assim como, B e Zn na biomassa total do eucalipto. O tratamento com composto consumiu 49,47% mais energia, que o tratamento sem composto. Isso ocorreu devido ao transporte do composto, a operação de distribuição do composto e ao maior consumo de combustíveis nas atividades de colheita, em função da maior demanda de máquinas agrícolas. Esses fatores aumentaram em 47,96% o consumo de energia direta e em 1,51% de energia indireta, no tratamento com composto, diminuindo a eficiência energética neste tratamento, apesar do aumento da produção de madeira comercial, em 31,79%.

NUTRITIONAL AND ENERGETIC EVALUATION ON EUCALYPTUS (*Eucalyptus grandis*) PRODUCED WITH ORGANIC URBAN WASTE COMPOST. Botucatu, 2004. 60p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: CARLOS ROBERTO MOREIRA

Adviser: IRAÊ AMARAL GÜERRINI

Co-Adviser: MARCO ANTÔNIO MARTINS BIAGGIONI

2. SUMMARY

This research was aimed at accomplishing a nutritional and energetic evaluation of the urban waste compost use on *Eucalyptus grandis*, 9 years old, in relation to conventional chemical fertilization. The experimental delineating was performed in small sections subdivided, into two treatments, with and without compost, being allocated randomly three sections by treatment, with an area of 100m². The threes were subdivided into 4 diameter classes and, from the distribution by the diameter, were selected, randomly, 8 trees in each section, two by the diameter class, to be evaluate the production of dry material and the nutrients storage, 48 trees in total. In the energetic evaluation, was qualified every inputs and outputs energy to calculate the energetic efficiency in each treatment. The compost addition influenced significantly, on the increase in the content of N, P in the trunk and K in the bark, as well as, B and Zn in the total biomass of the eucalyptus. The treatment with the compost consumed 49,47% more energy, than the treatment without compost. This was due to the compost transportation, the operation of spreading the compost, and to the increased fuel consuming in the activities of harvest, as a result of the greater demand of agricultural machinery. These factors intensified the indirect energy consumption in 1,51% and the direct energy in 47,96%, in the treatment of the compost, decreasing the energy efficiency in this treatment, in spite of the expansion of the commercial timber, in 31,79%.

Keywords: urban solid waste, composting, organic fertilizer, nutrient and energetic balance.

3. INTRODUÇÃO

Devido a tendência da fixação de grandes contingentes humanos em concentrações urbanas, o aumento excessivo do lixo tornou-se um dos maiores problemas da sociedade moderna. Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (2000), são produzidas no Brasil cerca de 241.614 toneladas de resíduos diariamente, sendo que mais de 50 é material orgânico, dos quais 76% ficam a céu aberto.

Por outro lado, as constantes crises do petróleo trazem a tona, a busca por alternativas energéticas renováveis. Na prática o que se observa, é que existe uma relação direta da questão do lixo e da reciclagem deste, com a obtenção e economia de energia. Na realidade, a crise ambiental decorrente da industrialização não se origina tanto da falta de opções, mas sim da falta de consciência e de informação. Segundo Esqueda et al. (2000), os problemas ambientais e o desperdício energéticos estão inter-relacionados.

Existem várias opções para a disposição final do lixo, como: aterros sanitários, usinas de compostagem, digestão anaeróbia, incineração e outros. A escolha de uma delas depende das características do local e disponibilidade financeira (Gorgati & Lucas Júnior, 2001). A maneira mais conhecida para tornar aproveitável os resíduos orgânicos urbanos é a compostagem, que além de ser um processo de reciclagem, é um excelente processo de tratamento. Para Pereira Neto (1997), a compostagem pode ser desenvolvida por meio de sistemas de baixo custo, mantendo alta flexibilidade e facilidade operacional.

A aplicação de resíduos orgânicos ao solo tem sido praticada durante séculos, o desafio, entretanto, está em utilizar adequadamente as propriedades do solo, como

um sistema integrado, de modo a obter o melhor aproveitamento, sem jamais usá-lo, simplesmente, como um depósito de resíduos.

É preciso acelerar o processo de desenvolvimento desta prática, pois, a aplicação de composto de lixo urbano no solo, representa uma alternativa na reciclagem de nutrientes, podendo atuar na melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo e no crescimento das plantas, além de servir como meio de descarte e degradação desses materiais (Trindade et al., 1996). Adubos orgânicos ou qualquer outro material orgânico que venha somar para a melhoria do solo e contribuir no aumento da produtividade devem merecer a atenção de todos ligados direta ou indiretamente à agricultura (Nakagawa et al., 1991).

A atividade florestal no Brasil tem a característica de utilização de solos arenosos, que se destacam por suas baixa fertilidade. No entanto, o setor florestal oferece um mercado de trabalho intenso e permanente nas piores regiões rurais, segundo Soresini (1993), as atividades florestais, geram em média 4 empregos diretos para cada 100 hectares implantados, participando de 3,9% do PIB nacional. A espécie mais utilizada é a do gênero *Eucalyptus*, esta apresenta uma grande importância do ponto de vista econômico e silvicultural. Porém, o baixo nível tecnológico aplicado no seu cultivo fez com que as empresas convivessem por muitas décadas, com baixas produções.

Assim, na busca de aumentar a produtividade, novos recursos foram incorporados aos sistemas produtivos, crescendo muito a mecanização do setor. Com o crescimento da área reflorestada e da deficiência em nutrientes dos solos utilizados observa-se uma forte tendência no aumento de consumo de fertilizante no setor florestal (Oliveira, 2001). Junto também cresceu o consumo de energia, em função da maior demanda por combustíveis fósseis, inseticidas, herbicidas e máquinas agrícolas.

Tornando-se de fundamental importância a análise de fluxo de energia no sistema, de forma que permita uma visão geral das atividades produtivas e, a identificação das operações mais onerosas. Com esta análise tem-se a tradução dos fatores de produção em equivalentes energéticos, que constitui-se numa ferramenta analítica muito útil para auxiliar a gestão das empresas.

Este trabalho teve como objetivos analisar os efeitos da aplicação do composto de lixo urbano na nutrição do *Eucalyptus grandis* e avaliar o fluxo de energia no processo produtivo, em relação a adubação convencional.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 A produção de lixo urbano

A geração e o destino do lixo é um dos maiores desafios a ser enfrentado pela sociedade moderna. A atividade humana produz resíduos de toda ordem, desde aqueles com valor econômico, caso dos orgânicos, até os com alto potencial poluidor e de difícil descarte, como o lixo atômico (Defelipo, et al., 1991). Os resíduos gerados transcendem a capacidade de adaptação do ambiente, que passa a não mais incorporar estes elementos em seus ciclos originais (Esqueda et al., 2000).

Na linguagem popular o termo lixo é todo material inútil, ou aquele descartado e posto em lugar público, ou ainda cuja existência é tida como nociva. O lixo engloba dois grandes grupos de materiais: os resíduos, materiais que ainda podem ser utilizados em processos industriais de reciclagem ou reutilização, e os rejeitos, materiais contaminados ou inúteis que não podem ser reciclados pela tecnologia atual e são encaminhados aos aterros sanitários (Leão, 1997).

A diferenciação entre resíduo e rejeito é muito particular. Não é uma tarefa fácil definir lixo urbano, pois sua origem e formação estão ligadas a inúmeros fatores, tais como variações sazonais, condições climáticas, hábitos e costumes, economia, etc. Portanto, resíduo depende do local onde se encontra e onde é produzido. O que é resíduo numa residência não é necessariamente em uma indústria, e o que é rejeito hoje, amanhã poderá ser

de alguma forma aproveitado. Em qualquer época e lugar, o lixo sempre indica o modo de vida e a situação econômica de uma determinada sociedade. Para Rodrigues & Cavinatto (1997), quanto maior o poder aquisitivo da população, maior a quantidade e variedade do lixo, do mesmo modo que países considerados desenvolvidos produzem mais lixo, e poluem mais do que os países em desenvolvimento.

Os resíduos sólidos são classificados pela ABNT, conforme citação de Schalch (1991), como sendo aqueles nos estados sólidos e semi-sólidos, resultantes de atividade da comunidade, podendo ser de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, de serviços e agrícola. Com fontes tão diversas, a composição do lixo varia muito de acordo com a localidade, época do ano e nível econômico da população. Qualquer que seja essa composição, pode-se separar os componentes em fração orgânica composta de materiais decomponíveis e fração inorgânica com materiais mais resistentes, sendo que ambas podem ser recicladas.

Dos diversos resíduos produzidos pelo homem, tem-se dado ênfase aos resíduos orgânicos pela sua importância na agricultura. Dentre tais resíduos, o lixo domiciliar tem despertado grande interesse, pois, o seu acúmulo constitui sérios problemas ambientais, principalmente, nas grandes cidades, e a sua utilização permite a reciclagem de nutrientes por meio da fertilização dos solos (Kiehl, 1985).

O lixo domiciliar brasileiro possui uma das taxas mais elevadas de detritos orgânicos em sua composição, enquanto nos países desenvolvidos predominam papel, papelão e plásticos. O lixo originado nas residências é denominado resíduo doméstico ou domiciliar e resulta de atividades cotidianas. No Brasil, cada pessoa produz de 600 a 800 g de resíduos por dia. Nas cidades com população de maior poder aquisitivo, como Brasília e Curitiba, chega a 1kg por habitante (Souza, 2000), sendo que a metade desse peso corresponde a sobras de alimento (Leão, 1997). Dados do IBGE, citado por Franco (2003) mostram que menos de 1% dos resíduos orgânicos urbanos é tratado em usinas de compostagem.

A solução mais nobre para equacionar o problema é através da reciclagem, assim o setor público resolveria a questão do lixo, com a redução de custos de construção e manutenção de aterros sanitários, já que a destinação de lixo em um município é um dos principais dilemas das Administrações Públicas. Pereira Neto (1997), destaca que a solução para os problema gerados pelos resíduos sólidos no país, principalmente os resíduos orgânicos,

se constitui em um fator imperativo, face ao crescente número de pessoas a sofrerem as consequências desse descaso.

Existem três alternativas para a disposição final dos resíduos orgânicos urbanos, as águas superficiais, a atmosfera e o solo. Para Mazur et al. (1983), o solo representa o sistema mais apropriado, pela facilidade de manejo dos resíduos com o mínimo de efeitos sobre o ambiente. Uma das melhores possibilidades para enfrentar o problema é reciclar os desperdícios em vez de jogá-los no meio ambiente. Segundo Kiehl (1985), o composto é resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos transformados em um produto mais estável e utilizado como fertilizante.

Depois de preparados convenientemente, o emprego desses resíduos nos solos agrícolas tem apontado como uma boa fonte de matéria orgânica, permitindo descarte controlado e com baixos riscos de poluição, além dos benefícios da reciclagem de nutrientes. A compostagem de resíduos urbanos tem sido preconizada, inclusive, como meio de eliminação de microorganismos patogênicos, já que no interior das leiras de composto a temperatura atinge entre 60 e 70°C, durante vários dias. Essa temperatura pode eliminar, inclusive, bactérias e vírus patogênicos (Dalponte, 1990; Morga, 1996; Peixoto, 1988).

As etapas constituintes de uma usina de compostagem de lixo de acordo com Kiehl (1998) são: recepção e estocagem do resíduo, podendo estar previamente separado através da coleta seletiva ou não. Quando o resíduo úmido, ou seja, rejeitos de cozinha, restos de comida, frutas, verduras, podas de plantas ainda não estão separadas dos materiais inertes, então há a etapa de triagem do resíduo.

O lixo é despejado em fossos de recepção e dali segue para esteiras de catação, onde se faz, manualmente, a seleção do material reciclável. O material orgânico e o rejeito são colocados em bioestabilizadores – grandes cilindros que giram continuamente – onde os objetos mais pesados vão triturando e dilacerando os mais leves, reduzindo o tamanho das partículas e favorecendo a oxidação e ação dos microorganismos. O processo de fermentação aquece a massa, provocando a decomposição aeróbia da matéria orgânica e a pasteurização do material, com a destruição de germes, parasitas, ovos, larvas, sementes vegetais e ervas daninhas.

Depois, a massa de composto crua passa por peneiras rotativas, para a separação do rejeito, que é levado para aterros sanitários. O composto, ainda cru, é então

depositado em leiras, movimentadas a cada 5 a 7 dias (dependendo da temperatura da pilha) com pás-carregadeiras e caminhões basculantes, no pátio de maturação. Após dois meses, o material é submetido a um peneiramento fino, para a separação do material que não se degradou. Nessa altura, já tem uma aparência firme e está, finalmente, pronto para uso. Curado e peneirado, com aparência semelhante ao pó de café.

Existem dois tipos de compostos orgânicos de lixo urbano produzidos pelas usinas de compostagem em São Paulo: 1º) composto curado e peneirado e 2º) composto semi-curado. Segundo Kiehl (1998), a tonelada, curada e peneirada, custava 2 dólares na porta da usina de Santo André e 10 dólares para o agricultor em São Sebastião do Paraíso, SP, com frete incluído. Na usina de Vila Leopoldina, o composto cru custava 50 centavos de dólar por tonelada, mas, nesse caso, o agricultor precisa curá-lo em leiras ou em composteiras e peneirá-lo, em sua propriedade. É o que fazem dezenas de agricultores que, diariamente, descarregam seus produtos na Ceagesp – a Central de Abastecimento da Grande São Paulo, que fica perto da usina, e na volta trazem os caminhões cheios de composto orgânico.

Existem várias técnicas de compostagem de resíduos sólidos municipais, porém antes de aplicá-las alguns fatores econômicos e ambientais devem ser considerados, dentre eles merece destaque a energia envolvida nas diversas etapas. Avaliando o consumo energético em um sistema de compostagem acelerada de lixo doméstico com lodo de esgoto, Gorgati & Lucas Júnior (2001), obtiveram um consumo energético no processo de produção, transporte e aplicação do composto em culturas, igual a $34,4 \text{ kWh t}^{-1}$ de lixo, destacando-se a economia energética relacionada com a disponibilidade de nutrientes, menor esforço das máquinas no preparo dos solos que receberam o composto e a redução da erosão.

4.2 O uso de composto orgânico de lixo urbano em plantios florestais

Antes mesmo da introdução de fertilizantes há cerca de 130 anos, o esterco e o composto constituíam, praticamente, a única fonte de nutrientes do solo à disposição das plantas. Com a modernização da agricultura, o uso de fertilizantes orgânicos diminuiu muito em relação aos inorgânicos, ficando restrito a algumas regiões menos desenvolvidas, a alguns agricultores de poucos recursos.

Com as mudanças inerentes no cenário econômico mundial, ou seja, a escassez de insumos devido ao elevado custo de importação e ao aumento de preço dos fertilizantes minerais, a adubação orgânica passou a constituir-se novamente em uma alternativa necessária como forma de substituição parcial de adubos químicos, além da diminuição de custos (Igue, 1984).

A utilização do composto orgânico de lixo urbano na agricultura brasileira tem se difundido nos últimos anos, especialmente próximo às usinas de reciclagem, mas ainda são escassas informações consistentes quanto à sua composição química e quanto à dose adequada para as diferentes espécies. As formas de reciclagem e de disposição final do lixo urbano, tem sido alvo de muita discussão.

No Brasil ainda não existe nenhuma regulamentação para aplicação deste em solos agrícola. No entanto, já existe regulamentação para o uso do lodo de esgoto (Companhia de Tecnologia e Saneamento ambiental, 1999). Esta regulamentação se faz necessária, pois, na situação atual, tornou-se fundamental, a busca por alternativas, que visem melhorar e conservar a fertilidade dos solos, simplificando o sistema operacional das propriedades, a fim de que a dependência pela adubação química seja diminuída (Gomes & Pacheco, 1988).

A grande vantagem do composto é fornecer nutrientes vagarosamente às plantas, evitando a perda desse elemento por lixiviação. Porém, a maior vantagem no uso do composto orgânico do lixo urbano, é o seu efeito como agente condicionador do solo, melhorando sua características físicas, como retenção de água e porosidade. Vantagens, talvez mais importante que seu efeito como fertilizante (Tibau, 1981; Balanyà Martí et al. 1994; Costa et al., 1994; Stringheta et al., 1997 e Santos & Pacolla, 2000).

A aplicação de composto de lixo urbano em solos cultivados proporciona aumentos na fitodisponibilidade de P, K, Ca e Mg, elevação do pH, da CTC e redução da acidez potencial do solo (Oliveira, 2002). O composto mineraliza-se lentamente, liberando gradativamente os nutrientes para as plantas, além de as substâncias húmicas atuarem na complexação de Al e Mn trocáveis, diminuindo a ação tóxica desses elementos temporariamente (Peixoto, 1988). Os nutrientes N e P, possuem uma liberação mais lenta que a dos adubos minerais, dependente da mineralização da matéria orgânica, proporcionando disponibilidade ao longo do tempo (Raij et al., 1997).

Após 4 anos de aplicação de composto orgânico de lixo urbano mais a adubação comercial, no município de São Simão, região norte de São Paulo, Zen et al. (1994) conseguiram um ganho em volume de madeira de *Eucalyptus grandis* de 43% em relação a somente adubação comercial, melhorando também as propriedades físicas e químicas dos solos. O composto contribuiu para aumentar a produção, com um limite de resposta entre as dosagens de 21 e 28 ton ha⁻¹, independente de ser aplicada a lanço ou em faixa.

Grolli & Kämpf (1994) encontraram excelentes resultados com a utilização de composto de lixo urbano na produção de mudas de *Grevillea*. Santos et al. (1994), avaliando o efeito do composto orgânico de lixo urbano em plantios de Leucena (*Leucaena leucocephala*), concluíram que a sua adição proporcionou maior peso nos nódulos, maior acúmulo de nitrogênio total e maior rendimento de matéria seca.

4.3 A ciclagem e exportação de nutrientes

A ciclagem de nutrientes é um dos aspectos fundamentais para a manutenção da produtividade florestal. Com a deposição de folhas, galhos e outros resíduos vegetais, forma-se a serapilheira sobre a superfície do solo que, ao se decompor, libera nutrientes para as árvores, os quais são imediatamente aproveitados. O conhecimento do conteúdo de nutrientes dos resíduos é importante no sentido de determinar seu valor econômico e buscar alternativas para manter os nutrientes no terreno.

Quantidades significativas de nutrientes podem retornar ao solo através da queda dos componentes da parte aérea das plantas e sua posterior decomposição. Estes fragmentos orgânicos, ao caírem sobre o solo, formam uma camada de serapilheira. A quantidade total de nutrientes minerais em uma floresta é determinada pela sua quantidade de biomassa. Segundo Pritchett (1979), a absorção dos nutrientes pelas árvores é influenciada pela espécie, pela cobertura florestal e pelas condições de solo e clima.

A deposição de serapilheira é o processo pelo qual as árvores realizam a ciclagem biológica de nutrientes nos povoamentos florestais (Baggio & Carpanezzi, 1997), existindo uma relação direta entre a quantidade de serapilheira depositada e a produtividade da floresta (Ferreira et al., 2001). De acordo com Andrade (2002), a aplicação do composto de

lixo urbano em eucalipto, possivelmente, aumenta o teor de matéria orgânica do solo nos estágios iniciais do desenvolvimento das árvores, contribuindo para um melhor desenvolvimento inicial e promove uma maior velocidade de decomposição da serapilheira, resultando no consumo mais rápido da matéria orgânica do solo.

Através da deposição de material orgânico e da sua decomposição, quantidades relativamente elevadas de nutrientes são disponibilizados para o novo crescimento anual das árvores. Em muitos casos, quase a totalidade de nutrientes necessários para o crescimento anual são obtidos assim. O aumento da quantidade de nutrientes absorvidos e, portanto, exportáveis, com a idade do povoamento, é um fato óbvio em razão do maior acúmulo de biomassa. Por outro lado, quanto mais velho for o povoamento florestal, menor sua dependência da fertilização, pois a ciclagem de nutrientes, atende grande parte das exigências nutricionais das árvores (Gonçalves et al., 1997).

A verificação detalhada quanto à capacidade do sítio em sustentar a produtividade de madeira requer conhecimentos sobre o estoque de nutrientes no solo e sua relação quantitativa com as exportações em cada rotação. Para isso, é necessário o monitoramento da distribuição de nutrientes nos diversos componentes do sistema. Este monitoramento possibilita uma avaliação mais abrangente da eficiência e das implicações do uso de resíduo em florestas, para manutenção da produtividade do sítio em rotações sucessivas, sendo necessária a reposição dos nutrientes exportados (Andrade et al., 1997).

Para avaliar a sustentabilidade da produtividade dos povoamentos florestais, há necessidade de quantificar o fluxo de nutrientes neste, e em outros processos, envolvidos na ciclagem de nutrientes, comparando-o com a retirada promovida pela explorações florestais (Ferreira et al., 2001). O conhecimento da distribuição de nutrientes nos compartimentos das árvores é importante para estabelecer estratégias de amostragem com objetivos de estudar sua nutrição, reciclagem e exportação. Também para avaliar as quantidades de nutrientes exportadas do terreno, visando otimizar a relação benefício/custo e para decidir sobre o manejo florestal a ser adotado (Rezende, 1983; Reis & Barros, 1990).

Poggiani et al. (1983) constataram que 9% da biomassa está contida nas folhas, 7% nos galhos e 83% no tronco com casca; porém, 37% dos nutrientes estão contidos nas folhas, 10% nos galhos e 53% no tronco e casca. De acordo com Silva et al. (1983), a elevada quantidade de nutrientes, verificada na biomassa do tronco e da casca, demonstra que

a exploração dos talhões florestais provoca uma grande remoção dos nutrientes do sítio. Esses resultados indicam que seja evitada a remoção de folhas, galhos e cascas no campo. Para Schumacher (1992), pode-se dizer que a exportação de nutrientes será tanto mais elevada quanto maior for a quantidade de biomassa extraída do povoamento.

Lima & Masseto (1997) monitorando plantações de eucalipto em microbacias de topografia acidentada por um período de 8 anos, realizaram um balanço de nutrientes quantificando as entradas (precipitação e adubação) e saídas de nutrientes, naturais (deflúvio) e artificiais (lenho e casca) do ecossistema microbacia. Os saldos deste balanço foram negativos, sendo que a saída de nutrientes foi maior que a entrada.

4.4 Conceitos do uso de energia na agricultura

A energia é um dos insumos necessários ao desenvolvimento econômico. Ao lado das matérias-primas e da mão-de-obra, ela permite a transformação dos materiais e a produção dos bens e serviços que asseguram a subsistência e conforto dos seres humanos. Desde o aparecimento do homem na Terra, a energia humana está associada à nossa vida.

Uma corrida na praia, uma árvore que cresce, um raio que cai, um vulcão em erupção: em todos esses fenômenos está presente a energia. Sem ela a vida não seria possível, pois os ecossistemas dependem de suas constantes transformações. Energia é, antes de tudo, um conceito científico, presente nos alicerces da física, química e biologia (Guerrero, 1987).

No passado, a principal fonte de energia era o trabalho humano, em cuja exploração os regimes escravocratas basearam seu progresso. O trabalho dos animais complementou essa fonte de energia, permitindo o desenvolvimento de uma agricultura mais eficiente. As quantidades de energia envolvidas nesse período, bastante limitadas, só aumentaram com o desenvolvimento das cidades, da manufatura, do comércio e do transporte de novos produtos. Ainda assim, o consumo de energia per capita foi muito pequeno até o século XIX, quando a revolução industrial permitiu a utilização de máquinas em grande escala na produção e no transporte.

Nas últimas décadas, através de técnicas sofisticadas que colocam as mais variadas formas de energia a seu serviço, o homem moderno criou uma civilização que

alterou, como nenhuma antes, as condições de vida do planeta. Desde então, houve uma acirrada competição por recursos energéticos fósseis e as emissões de poluentes aumentaram extraordinariamente os teores de gases tóxicos e partículas na atmosfera das grandes cidades do mundo. A adição de dióxido de carbono na atmosfera, decorrente da queima de combustíveis fósseis já é bastante significativa, segundo a ONG Amigos de La Tierra, apud Kosloski & Ciocca (2000), é suficiente para determinar um aumento da temperatura média na atmosfera de 0,3% a cada dez anos, taxa duas vezes mais alta que a considerada normal.

Esta organização estima, com base na quantidade consumida em 1985, que o consumo de energia de origem fóssil no mundo deve reduzir em média 50% (85% nos países industrializados) até o ano 2030, para que não aconteça um colapso ambiental e, entre as medidas técnicas sugeridas para tanto, está a redução no uso de fertilizantes. Para Goldemberg (1979), a promoção do uso da energia renovável poderia amenizar esta situação. A capacidade do homem em desenvolver tecnologias que permitam o uso em grande escala de energias renováveis e não-contaminantes, é que vai garantir a qualidade ambiental e da vida no nosso planeta. Pelo contrário todos os seres vivos estarão ameaçados.

Um outro aspecto muito importante, bastante debatido atualmente, é o uso racional da energia. É uma atitude moderna, fundamental do ponto de vista estratégico, que diminui, a custos reduzidos, os impactos ambientais, estimula a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico. As tecnologias mais eficientes no uso da energia podem ser incorporadas enquanto o desenvolvimento do nosso país se processa.

Se isso foi feito, o Brasil e outros países em desenvolvimento terão a oportunidade única de saltar na frente dos países industrializados. Estes já contam com uma infra-estrutura obsoleta sedimentada, que necessita de uma enorme quantidade de adaptações, desnecessárias nos países ainda em crescimento. Deve se salientar que conservação de energia não implica em racionamento, muito menos compromete a produtividade, esta visa, eliminar desperdícios, utilizar apenas a energia necessária, buscando o máximo desempenho com o mínimo de consumo (Pimentel, 1980; Serra et al., 1979; Schroll, 1994; Quesada et al., 1987).

Nos primórdios da agricultura, relata Beber (1989), as energias adicionadas pelo homem na atividade produtiva eram, sobretudo, de origem biológica. Com o desenvolvimento de métodos e técnicas, outras fontes energéticas passaram a contribuir na atividade produtiva e no beneficiamento da produção. Novos recursos foram incorporados ao

processo produtivo (sementes melhoradas, fertilizantes e defensivos, máquinas, combustíveis fósseis, eletricidade), de modo a viabilizar a expansão da área cultivada e o aumento da produtividade. Nesta fase, a agricultura tem-se caracterizado pelo elevado consumo de derivados de petróleo e de recursos não-renováveis (White, 1975; Igue, 1980).

O aumento dos custos de implantação e manutenção de determinada cultura com fertilizantes, herbicidas, inseticidas, etc., aliados à necessidade da mecanização das operações, torna imperativa a maior produção por unidade de área, bem como, requer sistemas mais eficientes na utilização da energia aplicada (Zentner et al., 1989). Esta análise de fluxo de energia pode ser observada com a tradução dos fatores de produção em equivalentes energéticos, constituindo-se numa ferramenta analítica muito útil para auxiliar a gestão das empresas.

Deve-se ressaltar, que o desenvolvimento da agricultura pode se dar por meio da exploração efetiva dos recursos naturais existentes e/ou pela criação de condições que favoreçam a obtenção de maior produção, visando com isso ampliar a produtividade espacial da área, uma vez que cada área também se diferenciam pela maior ou menor produtiva, em virtude das condições naturais locais como, clima, solo e radiação solar, ou de ordem técnica como, equipamentos adequados, tecnologia disponível, mão-de-obra especializada, etc.

Freqüentemente, costuma-se comparar a produtividade agrícola brasileira com a de nações desenvolvidas, mais particularmente, os Estados Unidos. Serra et al. (1979) afirma ser bastante conhecido o fato de que algumas culturas, por exemplo a batata, apresentarem uma produtividade por área explorada de 3 a 5 vezes menor que a americana, enquanto outras, como a soja, tem produtividade quase semelhante à dos Estados Unidos. É conhecido cientificamente que fatores como clima, solo e variedades podem influenciar nestes resultados, explicando as grandes diferenças existentes entre os dois países, porém, a produção seguramente é dependente da energia investida.

A cultura de milho nos EUA, que teve a sua produtividade aumentada significativamente após 1940, quando grandes quantidades de energia na forma de fertilizantes começaram a ser introduzidas na sua lavoura. Entretanto, convém citar, que este incremento não é linear e apresenta fator de elasticidade α (definido como: $\alpha = \log \text{ Incremento na produção} / \log \text{ Incremento na energia gasta}$), possivelmente menor que 1. Comparando-se três

diferentes tipos de exploração da cultura de arroz, usando tecnologia moderna, os EUA investiram 15.522 Mcal ha⁻¹ obtendo uma produtividade de 5,8 t ha⁻¹, enquanto que com aplicação de tecnologia tradicional, as Filipinas investiram 41 Mcal ha⁻¹ obtendo a produtividade de 1,25 t ha⁻¹. Isto significa 378 vezes mais energia para uma produção apenas 4,6 vezes maior (Serra et al., 1979).

Os recursos de energia fóssil são os que despendem maior quantidade de energia, informação com base em análises energéticas na produção agrícola. Sendo as máquinas, o consumo direto de combustível e os fertilizantes nitrogenados que compõem a maior entrada de energia nos processos produtivos agrícolas (Heichel & Martin, 1980).

O consumo de combustíveis na agricultura pode ser reduzido através da racionalização do uso da mecanização, com a adequada manutenção das máquinas, com pressões corretas dos pneus, seleção adequada do trator/implemento e escolha correta da velocidade de trabalho, instrução adequada do operador, são fatores que podem permitir economia de até 30% no combustível. A adoção de técnicas como a do cultivo mínimo podem apresentar economia de combustível e em horas-máquinas de até 50% em determinadas lavouras e condições locais (Sanches et al., 1995). Entre outras alternativas para fins de economia, para substituir o óleo diesel em máquinas agrícolas, destacam-se: tratores a álcool, motores diesel a óleos vegetais modificados e motores a biogás.

O diagnóstico energético, atualmente, é realizada através do fluxo de energia do sistema (Schroll, 1994), interessando apenas sistemas de produção eficientes no uso da energia (Santos et al. 2000). No início dos anos 70, estudos de balanço energético em culturas como a do milho eram desenvolvidos na Universidade de Corneel – EUA (Kosloski & Ciocca, 2000). Atualmente, o estudo da eficiência do uso da energia para avaliação da sustentabilidade de agrossistemas tem recebido atenção especial

Na categoria energia direta se enquadram os corretivos, fertilizantes, herbicidas, inseticidas, além dos combustíveis fósseis, sendo levado em conta o seu uso para movimentação das máquinas agrícolas, para acionamento de sistemas de irrigação e para o transporte dos insumos e da produção. Na categoria energia indireta se enquadra a energia consumida na indústria para a manufatura das máquinas e implementos agrícolas.

O *output* de energia é determinado pela conversão direta do rendimento de produtos em energia dado Mcal ou MJ, de acordo com o conteúdo de energia bruta de cada

unidade de produto. O *input* de energia (entrada de energia) é de natureza mais complexa, podendo incluir amplos e variáveis tipos de entrada de energia, como a energia gasta pelo trabalho humano, pelo transporte de insumos e produtos, energia gasta na manufatura das máquinas e implementos agrícolas, energia gasta na armazenagem e industrialização dos produtos, entre outros, cuja quantificação exata são mais difíceis de serem feitas (Pimentel, 1980; Junqueira et al., 1982 e Quessada et al., 1987).

Palma & Adams (1984) avaliaram a compatibilidade entre a eficiência econômica e eficiência energética, propondo o uso de energias alternativas, recicladas na propriedade para favorecer um balanço energético positivo. Beber (1989), em balanços energéticos realizados em propriedades no Rio Grande do Sul, observou que as pequenas propriedades tiveram maior eficiência, pois, utilizaram de modo mais intenso os recursos disponíveis nas mesmas, com pouca interferência do homem e com pouca adição de energia importada. Quesada et al. (1987), em balanços energéticos agropecuários obtiveram índices de eficiência energética para as seguintes culturas: trigo (1,89), soja preparo convencional (2,02), arroz (3,66), cana-de-açúcar (5,78), milho (6,86).

As razões práticas para se realizar uma avaliação energética são bastante diferentes, o que importa que esta análise seja realizada dentro de um sistema delimitado. O pesquisador é quem analisa os setores envolvidos na produção, caso não haja outro meio que indique o fim da cadeia de energia envolvida no sistema, definindo seus componentes, decidindo onde a análise cessa (Goldemberg, 1979). A maior dificuldade para a obtenção do indicador energético de uma dada cultura é a computação cuidadosa da energia indireta embutida nas máquinas e implementos utilizados. Qualquer produto ao ser elaborado exige o consumo de uma certa quantidade de trabalho humano, de transporte, de matéria prima e de combustível. É importante contabilizar todas as energias para que se possa, obter um número que exprima a energia investida na produção agrícola (Serra et al., 1979).

Uma grande quantidade de informações é exigida para contabilizar a energia incorporada em uma determinada máquina agrícola. Além de usar energia contida nos combustíveis para o deslocamento, deve ser considerado a energia embutida na sua fabricação, assim como a energia do aço usado nas chapas do veículo, no tratamento e chapeação de materiais e na fabricação das peças. O conteúdo energético de cada peça pode ser contabilizado, sendo uma forma de demonstrar que a utilização de qualquer recurso natural

consome energia até que se torne um produto final para consumo. Analisando o processo de fabricação de equipamentos agrícolas, Doering & Peart (1977) contabilizaram todos os gastos em energia numa fábrica produtora de determinadas classes de equipamentos. A energia total gasta foi então dividida pelas toneladas de equipamentos produzidos. Usando o conceito de valor adicionado, foi contabilizada toda a energia despendida no processo.

Neste particular esbarra-se num problema um quanto comum, pois, a avaliação da intensidade de energia de um certo bem, pode variar em função do tempo e do lugar. Por exemplo, ao se usar dados de vários países, com sistemas econômicos diferentes, em épocas diferentes, pode se obter resultados diferentes entre si. Fábricas modernas são bem mais eficientes e portanto menos consumidoras de energia. Outra possível variação está no custo da energia proveniente da matéria prima, que tem seu valor diferente em cada país. A remuneração da mão-de-obra pode ser outro fator, pois influi diretamente no custo energético do produto (Serra et al., 1979).

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização e descrição da área

O presente trabalho foi desenvolvido na Fazenda Ariona, pertencente à Cia. Suzano de Papel e Celulose Ltda., localizada no município de Itatinga, SP. A coleta do material no campo foi conduzida em área de reflorestamento de *Eucalyptus grandis*, espaçamento 3 x 2, com 9 anos, procedente de uma população comercial implantada em julho de 1992 e cortada em novembro de 2001.

A região está localizada a 23° 15'S de latitude, 48° 28' de longitude oeste, com uma altitude entre 650 e 700m. O clima predominante, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cfa, mesotérmico úmido, com precipitação média anual variando de 1200 a 1300 mm, concentrada no período de outubro a março e sem déficit hídrico. A temperatura média varia de 22 a 23°C no mês mais quente do ano e de 15 a 16°C no mês mais frio.

Os plantios foram realizados em solo do tipo Neossolo Quartzarênico (Tabela 5). Este solo é profundo, bem drenado, com textura arenosa. Devido à constituição quartzosa, são solos pobres em nutrientes minerais, ácidos, com alta saturação em alumínio, baixa capacidade de retenção de cátions e de água.

O relevo da área estudada é descrito como suave ondulado, declividade baixa, favorável a prática silvicultural mecanizada. Devido ao solo ser de textura arenosa, foi recomendado desde o planejamento inicial da fazenda a manutenção dos resíduos após a

colheita, distribuídos sobre o solo, favorecendo grandemente o controle erosivo e a manutenção da água no sistema, evitando assim, riscos de erosão laminar e em sulco.

5.2 Delineamento experimental

Para avaliação da biomassa e conteúdo de nutrientes nas partes da árvore (folhas, cascas, galhos e tronco), foi realizado um delineamento experimental inteiramente ao acaso com parcelas subdivididas. Foram selecionados dois talhões de *Eucalyptus grandis*, denominadas de parcelas experimentais, com e sem composto orgânico de lixo urbano, respectivamente. Essas foram subdivididas em quatro subparcelas, sendo classificadas em quatro classes de diâmetros (A, B, C, D) de tronco a altura do peito, a saber: (A) abaixo de 12,0 cm; (B) de 12,0 a 15,4 cm; (C) de 15,5 a 19,0 cm e (D) acima de 19,0 cm.

O ensaio foi realizado com três repetições, sendo estas, três áreas de amostragem de 100 m², em solo homogêneo e relevo plano, selecionadas aleatoriamente dentro de cada parcela. A partir da distribuição diamétrica, foram selecionadas aleatoriamente 8 árvores por área de amostragem, igualmente distribuídas por classe de diâmetro, num total de 48 árvores avaliadas no experimento (Tabela 1).

Com apenas dois tratamentos, a opção para aumentar o número de amostras foi considerar as classes de diâmetros como sendo subparcelas. Desta forma, aumentou-se o número de graus de liberdade e, conseqüentemente, aumentou-se a confiança na estimativa correspondente. De acordo com Gomes (1987), essa teoria tem fundamento e confirmação matemática. A análise estatística foi realizada utilizando-se o programa SAS, Centro de Informática na Agricultura - SINAG, FCA/UNESP – Botucatu.

Para determinação do consumo energético em cada tratamento, foi realizada uma pesquisa descritiva na forma de estudo de caso, conforme a metodologia aplicada por Carvalho e Lucas Júnior (2001). Considerando-se o talhão como um todo, quantificou-se as entradas e saídas de energia em cada tratamento, de acordo com a metodologia de Suiter Filho et al. (1983).

As informações referentes as atividades de preparo do solo, plantio e manutenção florestal, foi conseguida junto aos arquivos da empresa parceira na pesquisa (Cia.

Suzano, 1991)¹. Os dados referentes ao corte, traçamento e baldeio da madeira, foram obtidos no campo, junto as concessionárias de máquinas agrícolas e junto ao pessoal técnico da empresa.

Tabela 1 – Detalhamento experimental utilizado para avaliação nutricional.

Classe de diâmetro	Tratamentos (Parcelas)			
	Com composto		Sem composto	
Subparcelas	Numeração da árvore	Repetições - área de amostragem (100 m ²)	Numeração da árvore	Repetições - área de amostragem (100 m ²)
A	A1	1	A1	1
	A1		A1	
	A2	2	A2	2
	A2		A2	
	A3	3	A3	3
	A3		A3	
B	B1	1	B1	1
	B1		B1	
	B2	2	B2	2
	B2		B2	
	B3	3	B3	3
	B3		B3	
C	C1	1	C1	1
	C1		C1	
	C2	2	C2	2
	C2		C2	
	C3	3	C3	3
	C3		C3	
D	D1	1	D1	1
	D1		D1	
	D2	2	D2	2
	D2		D2	
	D3	3	D3	3
	D3		D3	

(A) abaixo de 12,0 cm; (B) de 12,0 a 15,4 cm; (C) de 15,5 a 19,0 cm e (D) acima de 19,0 cm. Duas árvores por classe de diâmetro por área de amostragem.

Exemplo: numeração da árvore A1 = classe de diâmetro A, área de amostragem 1 (repetição 1).

5.3 Descrição dos tratamentos e caracterização da adubação

Os tratamentos foram denominados como sendo: *com composto* (talhão 1, área de 38,52 ha) e *sem composto* (talhão 2, área de 64,11 ha), detalhados a seguir:

¹ Cia. Suzano de Papel e Celulose (1991), não publicado.

- Tratamento com composto: em 01/07/92 foi realizada a adubação e calagem com 1.500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico + 15.000 kg ha⁻¹ de composto orgânico de lixo urbano (composição ver Tabela 1) + 500 kg ha⁻¹ de termofosfato Yoorin (18% de P₂O₅, 25% de CaO e 16% de MgO) + 400 kg ha⁻¹ da formulação 10-10-10. Em 01/10/94 foi realizada a adubação de manutenção para corrigir os teores foliares. As quantidades de fertilizantes (NPK) foram calculadas com base nos dados de análise foliar e biomassa das árvores obtidos aos 27 meses, sendo aplicado 175 kg ha⁻¹ da formulação 14-07-28.

O composto orgânico, proveniente da Usina Santa Leopoldina, da cidade de São Paulo, teve suas análises realizadas no Laboratório de Análises Químicas do Departamento de Limpeza Urbana da Prefeitura de São Paulo, e revelou a seguinte composição química do composto totalmente curado e peneirado (Tabela 2).

Tabela 2 – Características do composto de lixo urbano utilizado.

Parâmetros medidos	Composição média
pH	8,0
Cinzas (g kg ⁻¹)	457,0
Umidade (g kg ⁻¹)	350,0
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	530,0
Carbono (g kg ⁻¹)	225,0
Nitrogênio (g kg ⁻¹)	18,0
Relação C/N	12,5
P (g kg ⁻¹)	2,4
K (g kg ⁻¹)	8,9
Ca (g kg ⁻¹)	21,0
Mg (g kg ⁻¹)	2,9
S (g kg ⁻¹)	3,3

- Tratamento sem composto: em 01/07/92 foi realizada a adubação no plantio com 1.500 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico + 500 kg ha⁻¹ de termofosfato Yoorin (18% de P₂O₅, 25% de CaO e 16% de MgO) + 400 kg.ha⁻¹ da formulação 10-10-10. Em 01/10/94, aos 27 meses de idade, foi realizada a adubação de manutenção para corrigir os teores foliares, sendo aplicado 175 kg ha⁻¹ da formulação 14-07-28. As quantidades de fertilizantes foram calculadas com base nos dados de análise foliar e biomassa das árvores.

Pela análise química do composto de lixo urbano, a aplicação de 15 t ha⁻¹ de composto, no *Tratamento com composto*, foi adicionado ao solo 270 kg ha⁻¹ de N, 36 kg ha⁻¹ de P, 133 kg ha⁻¹ de K, 315 kg ha⁻¹ de Ca e 43 kg ha⁻¹ de Mg.

Segundo a composição química dos fertilizantes e do composto orgânico de lixo urbano, os solos dos tratamentos estudados receberam as seguintes quantidades de nutrientes: *Tratamento com composto*: 334,50 kg ha⁻¹ de N; 178,25 kg ha⁻¹ de P; 222,00 kg ha⁻¹ de K; 440,00 kg ha⁻¹ de Ca e 123,00 kg ha⁻¹ de Mg (nutrientes do composto mais nutrientes dos fertilizantes químicos). *Tratamento sem composto*: 64,50 kg ha⁻¹ de N; 142,25 kg ha⁻¹ de P; 89,00 kg ha⁻¹ de K; 125,00 kg ha⁻¹ de Ca e 80,00 kg ha⁻¹ de Mg (somente nutrientes dos fertilizantes químicos).

5.4 Quantificação da biomassa e do estoque de nutrientes

As áreas de coleta foram demarcadas dentro de cada talhão, sendo que as 48 árvores selecionadas receberam uma identificação e, em seguida, sendo realizada a medição do DAP (diâmetro a altura do peito). A partir desse procedimento, foi realizado o corte de todo o talhão, deixando-se em pé somente as árvores previamente escolhidas. Duas semanas após a operação de colheita foi realizado o corte das árvores das parcelas experimentais. Durante o corte, 3 árvores foram descartadas por danos na copa, sendo que apenas, 45 árvores foram aproveitadas. Utilizando-se uma trena, foram medidas a altura total e a altura comercial, sendo a altura comercial até o diâmetro mínimo de 8 cm, com casca. A identificação das árvores amostradas, o diâmetro (DAP), a altura total e comercial, dos tratamentos com e sem composto orgânico de lixo urbano, são detalhados na Tabela 3.

Nas 45 árvores amostradas foram realizadas determinações dendrométricas, após separação em partes (folhas, galhos), sendo coletado todo o material da copa, com pesagem de matéria verde de folhas e galhos. A biomassa verde foi colocada diretamente sobre uma balança de uso comercial, com capacidade de até 100 kg. De cada parte, foram coletadas amostras simples de folhas e galhos para determinações das respectivas relações entre peso de matéria seca e peso de matéria verde, para estimativas dos pesos totais de matéria seca correspondentes.

Tabela 3 – Identificação das árvores amostradas, DAP, altura total e comercial, nos tratamentos com e sem composto orgânico de lixo urbano.

Tratamentos							
Com composto				Sem composto			
Número da árvore	DAP (cm)	Altura (m)		Número da árvore	DAP (cm)	Altura (m)	
		Total	Comercial			Total	Comercial
1A	11,0	21,80	13,60	25A	10,7	18,90	11,20
2A	10,5	21,15	12,70	26A	-----	-----	-----
3B	12,4	24,90	17,44	27B	13,4	23,70	17,15
4B	-----	-----	-----	28B	13,5	23,90	18,25
5C	17,2	29,60	25,20	29C	19,0	27,80	24,20
6C	17,5	30,30	24,80	30C	15,5	26,60	20,95
7D	22,1	31,80	27,10	31D	21,2	28,70	24,44
8D	23,9	34,30	30,00	32D	23,2	30,40	27,00
9A	9,4	18,45	9,60	33A	10,2	19,20	11,60
10A	9,9	20,95	12,28	34A	11,0	20,50	12,20
11B	12,9	20,60	16,28	35B	14,6	24,05	18,00
12B	15,4	28,30	22,10	36B	13,2	24,30	18,00
13C	18,1	29,70	25,30	37C	16,9	26,20	20,00
14C	18,8	31,10	24,90	38C	17,7	26,00	22,00
15D	27,1	34,05	30,30	39D	27,7	28,30	24,80
16D	24,8	33,90	30,00	40D	24,2	28,80	25,00
17A	10,8	18,70	11,20	41A	8,1	18,05	7,60
18A	-----	-----	-----	42A	11,8	23,70	15,40
19B	14,2	26,70	20,00	43B	13,1	23,50	16,40
20B	15,1	23,30	18,50	44B	13,5	24,70	17,50
21C	16,4	26,70	21,80	45C	16,6	26,20	21,90
22C	16,4	28,80	23,10	46C	17,8	26,10	21,90
23D	24,2	31,10	28,00	47D	19,1	26,30	20,90
24D	24,4	32,40	28,00	48D	24,5	29,20	26,00
Média	16,80	26,97	21,12	Média	16,40	25,00	19,23
Mínimo	9,40	18,45	9,60	Mínimo	8,10	18,05	7,60
Máximo	27,10	34,30	30,30	Máximo	27,70	30,40	27,00

As árvores 4B, 18A e 26A, foram perdidas por danos no momento da colheita, sendo descartadas.

As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, devidamente identificados e levados ao laboratório. Após esse procedimento, os diferentes compartimentos arbóreos foram lavados para isentar o material de partículas grosseiras. Para cada amostra retirou-se uma sub-amostra, para obtenção do seu peso fresco, em balança eletrônica. Este material verde foi acondicionado em saco de papel pardo e levado a uma estufa de circulação forçada para secagem a 65°C, até atingir peso constante.

Antes do corte das árvores, a fração serapilheira que cobria o solo foi amostrada, coletando-se todo o material orgânico que cobria o solo, numa área de 0,5 m²

escolhida aleatoriamente, dentro de cada parcela, em três repetições. Este material foi recolhido em saco plástico, pesado e levado para secagem.

As análises foram realizadas conforme a metodologia de Malavolta et al. (1997), no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, no Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, Botucatu–SP. Foram determinadas a matéria seca e a composição de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn). O procedimento de embalar, pesar e secar a serapilheira foi semelhante ao realizado para a árvore. Utilizando-se o peso médio das áreas amostradas em cada tratamento foi estimado a deposição de serapilheira em kg ha^{-1} .

Para cada árvore, com auxílio de motosserra, foram coletadas amostras do tronco na forma de discos com 6 cm de espessura, nas seguintes posições relativas: Base (0%), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial, até 8 cm de diâmetro com casca. Os discos retirados nas diferentes alturas ao longo do tronco das árvores receberam letras correspondentes para facilitar o manuseio e posteriormente a manipulação dos resultados. Para cada uma das secções foi determinada a densidade básica de madeira com base nos valores correspondentes às diferentes secções de cada árvore, sendo estimada a densidade básica média de madeira e da casca. As determinações de densidade foram conduzidas em função dos respectivos valores de peso de matéria seca, obtido em estufa, sendo que o volume saturado foi determinado em balança hidrostática. As análises foram realizadas no Laboratório de Análises do Departamento de Recursos Naturais, Ciências Florestais, FCA/UNESP.

Para estimar a biomassa dos componentes em kg ha^{-1} , considerou-se maciços de 1667 árvores por hectare, sendo as que as áreas de amostragem de 100 m^2 , já detalhadas anteriormente, tiveram o seu número de árvores contado, sendo anotado a frequência por classe de diâmetro e o número de falhas (Tabela 4).

A partir daí, foi estimado o número de árvores por hectare em cada classe de diâmetro. E, finalmente, multiplicando-se o peso médio de cada parte da árvore pelo número de árvores por hectare, em cada classe de diâmetro, obteve-se a matéria seca em kg ha^{-1} . Assim, a contabilização do conteúdo de nutrientes em kg ha^{-1} , nos componentes da biomassa aérea, deu-se a partir da biomassa determinada, multiplicando-se o teor médio de cada nutriente, em seus respectivos compartimentos, pelo valor de sua biomassa seca produzida e pelo número de árvores por hectare, conforme a frequência da classe de diâmetro.

Tabela 4 – Número de árvores por classe de diâmetro, número de falhas e número de árvores por hectare, nos tratamentos com e sem composto.

Áreas de amostragem (Repetições)	Classe de diâmetro (subparcelas)	Tratamentos			
		Com composto		Sem composto	
		Frequência	Estimativa de árvores ha ⁻¹	Frequência	Estimativa de árvores ha ⁻¹
Área 1	A	5	462	7	614
	B	3	278	5	439
	C	6	556	3	263
	D	4	370	4	351
	Falhas	2	-----	1	-----
Área 2	A	5	439	5	439
	B	3	263	4	351
	C	6	526	6	526
	D	5	439	4	351
	Falhas	1	-----	1	-----
Área 3	A	4	392	3	278
	B	2	196	4	370
	C	6	588	9	833
	D	5	490	2	185
	Falhas	3	-----	2	-----
Médias	A	5	431	5	444
	B	3	245	4	387
	C	6	557	6	541
	D	5	433	3	296
	Falhas	2	-----	1	-----

Classes de diâmetros: A <12 cm; B de 12 a 15,4 cm; C de 15,5 a 19,0 cm; e D > 19 cm.

5.5 Análise química do solo e das partes aéreas das plantas

As análises dos solos foram realizadas na época do corte em 2001, no Laboratório de Fertilidade do Solo, de acordo com metodologia proposta por Raij et al. (2001). As análises das plantas foram realizadas no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, na mesma época, de acordo com Malavolta et al. (1997). Ambos laboratórios pertencem ao Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Botucatu–SP.

Três amostras simples de solo foram coletadas em cada tratamento, na profundidade de 0 – 20 cm, sendo retirado uma amostra composta, após a homogeneização. Esta coleta ocorreu logo após a derrubada e retirada da madeira do eucalipto. Foram realizadas

análises para os seguintes parâmetros: pH, matéria orgânica, H + Al, P, K, Ca, Mg, V%, sendo que P, K, Ca e Mg foram extraídos pela resina trocadora de íons (Tabela 5).

Tabela 5 - Caracterização química do solo do experimento, plantio e colheita (0-20cm).

Tratamentos	Operação	pH	M.O.	P _{resina}	K	Ca	Mg	Al ³⁺	H+Al	CTC	V
		CaCl ₂	(g/dm ³)	mg/dm ³	-----mmolc ⁽⁺⁾ /dm ³ -----						%
	Plantio	3,5	14	6	0,2	1	1	2	5	6	5
Com composto	Colheita	3,9	15	4	0,4	3	2	8	38	45	10
Sem composto	Colheita	3,9	15	4	0,3	4	3	7	39	43	11

O conteúdo de nutrientes em um hectare de solo, pela análise química realizada nos tratamentos avaliados, no plantio e colheita, em sua camada arável (0 – 20 cm), contém o equivalente a : *Tratamentos com e sem composto (plantio)* - 12 kg de P; 15,58 kg de K; 77,90 kg de Ca; 77,90 kg de Mg; *Tratamento com composto (colheita)* : 8 kg de P; 31,15 kg de K; 233,67 kg de Ca; 155,80 kg de Mg; e *Tratamento sem composto (colheita)*: 8 kg de P; 23,37 kg de K; 311,56 kg de Ca; 233,69 kg de Mg.

As amostras secas da parte aérea das árvores por sub-parcelas, assim como da serapilheira, foram picadas e moídas em moinho do tipo Wiley. Foram passadas na peneira de malha 1,0 mm, retirando-se uma amostra de 50 g de cada componente. Os teores dos nutrientes no material vegetal de cada parte da árvore foram analisados quimicamente como se segue: N pelo método Kjeldahl; P, K, Ca, Mg, S, Cu, Mn e Zn através da digestão nítrico-perclórica e a partir do extrato obtido, fez-se as determinações, a saber: P total – calorimetria do metavanadato; K – fotometria de chama; S – turbidimetria; Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn – espectrofotometria de absorção atômica; e para extração do B foi realizada incineração e a determinação pelo método de colorimetria da azometina H.

5.6 Metodologia para cálculo do consumo energético

A energia injetada no sistema de produção de eucalipto foi subdividida em energia direta e energia indireta. Definiu-se como energia direta os combustíveis e insumos que tiveram o uso direto do petróleo, conforme Bridges & Smith (1979), tais como, a fabricação e transporte do adubo químico e corretivos, e a produção e o transporte do

composto orgânico. Também foi considerado como energia direta, a energia de origem biológica, como a mão-de-obra e as mudas. Como energia indireta foi definida a energia empregada na fabricação de máquinas e implementos, conforme com Cleveland (1995).

5.6.1 Composto orgânico

Para o composto orgânico de lixo urbano foi adotada a metodologia de determinação do coeficiente energético baseada na intensidade energética do produto nacional bruto, em MJ por valor monetário ($\text{MJ US\$}^{-1}$). Dados oficiais do Balanço energético do Estado de São Paulo, setor agrícola, ano base/2000 (Beesp, 2001), indicaram um valor de foi de 15,35 $\text{MJ US\$}^{-1}$.

O custo de aquisição do composto, praticado em setembro de 2003 foi de R\$ 5,00 a tonelada, (taxa cambial de R\$2,95/US\$), ou seja, US\$ 1,70 retirado na usina. Multiplicando-se o custo ($\text{US\$ ton}^{-1}$) pela intensidade energética ($\text{MJ US\$}^{-1}$), obteve-se o coeficiente energético do composto de 26,1 MJ ton^{-1} . Multiplicando-se pela quantidade de composto por hectare, resultou no consumo energético total para a fabricação do composto (MJ ha^{-1}), dada pela Equação 1:

$$\text{TEcom} = \sum (\text{CEc} \times \text{C}) \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

TEcom = total de energia na fabricação do composto (MJ ha^{-1});

CEc = coeficiente energético do composto (MJ ton^{-1});

C = Quantidade de composto aplicado (ton ha^{-1}).

5.6.2 Transporte de insumos agrícolas

A energia específica gasta para transportar com caminhões este tipo de material é de $0,83 \text{ kcal kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$ ou $3,47 \times 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ km}^{-1}$ (Pimentel, 1980). Multiplicando-se a energia específica, pela distância percorrida, que, neste caso foi de 228 km, obteve-se o coeficiente energético para o transporte do composto, de $0,79 \text{ MJ kg}^{-1}$.

No transporte do adubo químico, foi adotado o mesmo coeficiente utilizado no transporte do composto, em função da distância percorrida ser a mesma. Para o cálculo do consumo de energia com calcário, realizou-se o mesmo procedimento, porém, como a distância de 90,5 km, o coeficiente energético foi de $0,314 \text{ MJ kg}^{-1}$. Assim, o consumo de energia no transporte dos insumos, foi definido pela Equação 2:

$$\text{Tetra} = \sum (\text{CEt} \times \text{C}) \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

Tetra = total energia com transporte (MJ ha^{-1});

CEt = coeficiente energético de transporte (MJ ton^{-1});

C = quantidade de produto transportado (ton ha^{-1}).

5.6.3 Fertilizantes

Para a determinação da energia embutida nos fertilizantes, multiplicou-se as quantidades efetivas de elementos ativos (N, P_2O_5 e K_2O , em kg) pelo conteúdo energético específico correspondente (kJ kg^{-1}), apresentado por Pellizzi (1992), a saber: 73 MJ kg^{-1} para N; 13 MJ kg^{-1} para P_2O_5 e 9 MJ kg^{-1} para o K., através da Equação 3:

$$\text{TEf} = \sum (\text{CE} \times \text{F}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

TEf = total de energia consumida em fertilizantes (MJ ha^{-1});

F = quantidade total de fertilizante (kg ha^{-1});

CE = coeficiente energético do fertilizante (MJ kg^{-1}).

5.6.4 Defensivos

O coeficiente energético foi obtido considerando-se a quantidade de energia empregada na produção do ingrediente ativo. O round-up foi o herbicida utilizado, este possui uma concentração de $0,48 \text{ kg L}^{-1}$, sendo consumido 631,82 MJ para produzir um quilo deste concentrado, dados por Clements et al. (1995). A sulfluramida é o ingrediente ativo do formicida utilizado, o mirex, sua concentração é de 50 g kg^{-1} , e o valor médio da energia empregada no processo de fabricação dos inseticidas é de $204,90 \text{ MJ kg}^{-1}$ (Macedônio & Picchioni, 1985). Multiplicando-se a concentração pela quantidade de produto utilizado, e depois pelo conteúdo energético do ingrediente ativo, conforme mostra a Equação 4:

$$\text{TEd} = \sum (C \times D \times \text{CEd}) \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

TEc = total de energia para os defensivos (MJ ha^{-1});

C = concentração do produto (kg kg^{-1});

D = quantidade total do defensivo utilizado (kg ha^{-1});

CEd = conteúdo energético do ingrediente ativo (MJ kg^{-1}).

5.6.5 Combustíveis e lubrificantes

Para o cálculo da energia consumida com combustíveis e lubrificantes, levou-se em conta o consumo de energia para o seu processamento, conforme Pimentel (1980), o óleo diesel foi de $43,93 \text{ MJ l}^{-1}$; lubrificante de $43,91 \text{ MJ l}^{-1}$; graxa $49,22 \text{ MJ kg}^{-1}$; e

gasolina de $34,05 \text{ MJ l}^{-1}$. Para o cálculo do consumo de óleo lubrificante, foi considerado 1,5% do consumo de diesel e, para a graxa, 33% do consumo de lubrificante. No caso do óleo 2 tempos, lubrificante dos motosserras, considerou-se com a mesma energia do lubrificante comum, com um consumo de 3,3% do consumo da gasolina. Multiplicando-se o poder calorífico do combustível utilizado pelo consumo específico da máquina, na operação realizada, obteve-se o total de energia dos combustíveis, em MJ ha^{-1} , dado pela Equação 5:

$$\text{TEc} = \sum (\text{PC} \times \text{C}) \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

TEc = total de energia embutida no combustível (MJ ha^{-1});

PC = poder calorífico do combustível (MJ kg^{-1});

C = quantidade de combustível (kg ha^{-1}).

5.6.6 Mão-de-obra

O cálculo da energia despendida com mão-de-obra pela força de trabalho humano foi baseado em registros da empresa. A energia específica consumida pelo trabalhador rural e por tratoristas foi $0,39 \text{ MJ h}^{-1}$ (Carvalho et al., 1974). Assim, multiplicando-se a energia específica pelo tempo trabalhado, obteve-se o consumo total de energia, sendo definida pela Equação 6:

$$\text{TEmo} = \sum (\text{EE} \times \text{T}) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

TEmo = consumo total de energia para mão-de-obra (MJ ha^{-1});

EE = energia específica (MJ h^{-1});

T = Tempo despendido no trabalho (h ha^{-1})

5.6.7 Mudanças

Na ausência detalhada das entradas de energia no processo de produção das mudas de eucalipto (produzida através de semente, em pomar próprio da empresa), a técnica utilizada para determinação do seu coeficiente energético, foi baseada na intensidade energética do produto nacional bruto, em MJ por valor monetário (MJ US\$⁻¹), preconizada por Heichel apud Campos (2001).

Utilizando a mesma metodologia aplicada para o cálculo do conteúdo energético da composto (item 5.7.1), ou seja, parte-se do princípio que as mudas possuem a mesma intensidade energética de outros bens e serviços. Segundo o Balanço Energético para Estado de São Paulo, é de 15,35 MJ US\$⁻¹ (Beesp, 2001). O valor embutido por muda é de 0,35 MJ, com uso de 1700 mudas por hectare, têm-se a partir da Equação 7, o total de energia consumida com mudas:

$$TE_{mu} = \sum (E_{mu} \times \mu) \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

TE_{mu} = total de energia para as mudas (MJ ha⁻¹);

E_{mu} = energia embutida nas mudas (MJ kg⁻¹);

μ = quantidade de mudas (kg ha⁻¹).

5.6.8 Máquinas e implementos agrícolas

O cálculo da energia indireta embutida nas máquinas e implementos, foram baseados no peso dos equipamentos e fundamentados, no conceito de valor adicionado. Sendo o cálculo realizado pela depreciação energética, segundo os dias de utilização e em função da vida útil dos equipamentos, citado por Serra et al. (1979); Castanho filho & Chabaribery (1983); Ulbanere (1988); Beber (1989).

Para a determinação do consumo energético dos equipamentos, foram adotados seguintes os coeficientes, conforme Macedônio & Picchioni (1985), 69,83 MJ ha⁻¹

para os tratores e motosserras e, 57,20 MJ ha⁻¹ para implementos (Equação 8). As demais informações utilizadas para o cálculo da energia indireta de máquinas e implementos, são detalhadas nas Tabelas 6 e 7.

$$TE_{ma} = [(CE \times P)/VU] \times C \quad (Eq. 8)$$

Onde:

TE_{ma} = total de energia indireta da máquina ou implementos (MJ ha⁻¹);

CE = coeficiente energético (MJ kg⁻¹);

P = peso da máquina (kg);

C = horas trabalhadas (h ha⁻¹);

VU = vida útil (horas).

Tabela 6 – Máquinas e implementos, peso e vida útil (V.U.), energia específica (E.E.), operações e consumo horário, nos tratamentos com e sem composto.

Máquinas e implementos	Operações	Peso (kg)	V.U. (horas)	E. E. (MJ/h)	Consumo (h/ha)	
					Com	Sem
Trator 90cv	Sulcagem	5800	14000	28,93	3,0	3,0
Trator 85cv	Calagem	4410	14000	22,00	1,8	1,8
Trator 85cv	Distribuir composto	4410	14000	22,00	4,0	----
Trator 65cv	Plantio	3670	14000	18,31	0,5	0,5
Trator 85cv	Irrigação	4410	14000	22,00	1,5	1,5
Trator 85cv	Adubação plantio	4410	14000	22,00	1,0	1,0
Trator 85cv	Adubação manutenção	4410	14000	22,00	1,0	1,0
Trator 65cv	Replante	3670	14000	18,31	0,5	0,5
Trator 85cv	Capina química/EL	4410	14000	22,00	2,0	2,0
Trator 65cv	Capina química/L	3670	14000	18,31	0,5	0,5
Trator 120cv	Baldeio	7000	14000	34,92	16,4	12,9
Motosserra	Colheita	8	7000	0,08	46,0	36,1
Sulcador/3 hastes	Sulcagem	1000	8000	7,15	3,0	3,0
Calcariador	Calagem	1700	8000	12,16	1,8	1,8
Calcariador	Distribuir composto	1700	8000	12,16	4,0	----
Carreta	Plantio	600	8000	4,29	0,5	0,5
Tanque	Irrigação	1600	10000	9,15	1,5	1,5
Adubadeira	Adubação plantio	250	5000	2,86	1,0	1,0
Adubadeira	Adubação manutenção	250	5000	2,86	1,0	1,0
Carreta	Replante	600	8000	4,29	0,5	0,5
Pulverizador	Capina química/EL	350	7000	2,86	2,0	2,0
Pulverizador	Capina química/L	350	7000	2,86	0,5	0,5
Carreta autocarregável	Baldeio	6500	7000	53,11	16,4	12,9

5.6.9 Eficiência energética

A eficiência energética dos tratamentos estudados, resultou da divisão da soma da energia consumida pela energia produzida, sendo calculada pela Equação 9:

$$EF = \Sigma E_{\text{produção}} / \Sigma E_{\text{consumo}} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

$E_{\text{produção}}$ = energia produzida no processo de produção (MJ ha^{-1});

E_{consumo} = energia consumida no processo de produção (MJ ha^{-1}).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Determinação de biomassa e análise nutricional

6.1.1 Produção de matéria seca

As Tabelas 7 e 8 apresentam os resultados da análise de variância aplicada aos dados de produção de matéria seca de *Eucalyptus grandis*, produzidas com e sem composto de lixo urbano, avaliadas em 4 classes de diâmetros, a saber: (A) abaixo de 12,0 cm; (B) de 12,0 a 15,4 cm; (C) de 15,5 a 19,0 cm e (D) acima de 19,0 cm.

Tabela 7 – Análise de variância aplicada a quantidade de matéria seca de *Eucalyptus grandis*, nos tratamentos com e sem composto, considerando as classes de diâmetros.

Fontes de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	F	P
Fator	11	91203,319	8291,211	11.74	0,0001
Resíduos	33	23313,215	706,496		
Total	44	114516,534			

Segundo a análise de variância pelo menos uma das médias do fator classe de diâmetro, difere estatisticamente entre si. Na Tabela 8, análise de variância mostra as interações da classe de diâmetro (subparcelas) com os tratamentos (parcelas), revelando uma correlação altamente significativa sobre a produção de matéria.

Tabela 8 – Análise de variância aplicada a quantidade de matéria seca de *Eucalyptus grandis*, nos tratamentos com e sem composto, considerando as classes de diâmetros e suas interações.

Fontes de variação	Graus de liberdade	SQ	QM	F	P
Parcelas	1	2237,310	2237,310	3,2	0,084 ns
Subparcelas	3	78788,620	26262,873	37,2	0,000 *
Parcelas * Subparcelas	3	7125,451	2375,151	3,4	0,030 *
Parcelas * Repetições	4	3051,938	762,984	1,1	0,382 ns
Total	11				

ns = não significativo ao nível de 5% de probabilidade

* = significativo, ou seja, pelo menos uma das médias é diferente ao nível de 5% de probabilidade.

Foi verificada uma diferença estatística significativa pelo teste Tukey de média, a 5% de probabilidade, na produção de matéria seca de tronco para os diâmetros B e D. O teste mostra que a produção de tronco foi 49,49% a mais, nas árvores de diâmetro B, no tratamento sem composto. Porém, no diâmetro D, a produção de tronco foi maior em 73,75%, para o tratamento com composto. Este resultado refletiu também, no aumento significativo na produção de casca nas árvores de diâmetro D, para o tratamento com composto (Tabela 9).

Tabela 9 – Quantidade de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) nos compartimentos de *Eucalyptus grandis*, nos tratamentos com e sem composto, considerando as classes de diâmetros.

Classe de Diâmetro	Tratamentos	Fração vegetal				
		Folha	Tronco	Galho	Casca	Total
A	Com composto	0,40 Aa	12,36 Aa	0,62 Aa	1,07 Aa	14,45 Aa
	Sem composto	0,35 Aa	11,76 Aa	0,18 Ab	1,04 Aa	13,33 Aa
B	Com composto	0,26 Aa	17,72 Aa	0,49 Aa	1,46 Aa	19,93 Aa
	Sem composto	0,44 Ab	26,49 Ab	0,83 Ab	2,17 Ab	29,93 Aa
C	Com composto	1,12 Ba	69,83 Ba	2,06 ABa	5,77 Ba	78,77 Ba
	Sem composto	2,02 Bb	66,42 Ba	3,56 ABb	5,86 Ba	77,86 Ba
D	Com composto	3,65 Ca	130,84 Ca	1,61 Ba	10,61 Ca	146,71 Ca
	Sem composto	3,58 Ca	75,30 Cb	7,58 Bb	6,44 Cb	93,41 Ca
DMS (entre os diâmetros)		1,09	25,56	2,59	2,41	30,40
CV%		60,76	41,20	99,97	46,49	42,45
Média	Com composto	1,46 a	62,05 a	1,26 a	5,04 a	69,82 a
	Sem composto	1,67 a	46,78 a	3,22 a	4,04 a	55,71 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na classe de diâmetro na coluna, e por mesma letra maiúscula, entre as classes de diâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

Também foi detectada diferença significativa na produção de casca, para as árvores de diâmetro B, com maiores ganhos para o tratamento sem composto, sendo justificado pela maior produção de tronco. O aumento na produção de tronco proporcionado

pelo composto reduziu a produção de biomassa de folhas e galhos, indicando que o composto influenciou especificamente na componente de produção, ou seja, a madeira. Além, da vantagem da maior produção de madeira no tratamento com composto, a menor produção de folhas e galhos neste tratamento, que pode promover benefícios no momento da colheita, influenciando no menor tempo e no menor consumo de energia pelos equipamentos.

Também houve diferença significativa na produção de galhos nos diâmetros A, B, C e D; para a produção de folhas nos diâmetro B e C, com ganhos consideráveis de matéria seca, principalmente, nos galhos no tratamento sem composto, sendo maior a incidência de árvores com classe de diâmetro A e B neste tratamento. De acordo com Silva & Machado (1995), a variação do diâmetro médio do povoamento afeta significativamente o tempo padrão das operações, aumentando a quantidade de energia consumida no corte.

O tratamento que recebeu composto apresentou uma tendência de aumento da matéria seca total, quando comparado ao tratamento que recebeu apenas adubo químico, porém, não houve diferença estatística significativa, conforme o Teste de Tukey aplicado às médias de produção de matéria seca, nos tratamentos com e sem composto (Tabela 10).

Tabela 10 – Produção de matéria seca ($t\ ha^{-1}$) de cada componente de eucalipto, com e sem composto de lixo urbano, e seus respectivos percentuais em relação ao total.

Tratamentos	Fração vegetal							
	Folhas	(%)	Tronco	(%)	Galhos	(%)	Cascas	(%)
Com composto	1,46 a	2,1	62,05 a	88,9	1,26 a	1,8	5,04 a	7,2
Sem composto	1,67 a	3,0	46,78 a	84,0	3,22 a	5,8	4,04 a	7,3
DMS (tratamentos)	0,70		19,50		2,50		1,53	
CV (%)	60,76		41,20		99,97		46,49	
Total								69,82 a
								55,71 a
								22,87
								42,45

DMS = Diferença Mínima Significativa; CV = Coeficiente de Variação.

Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).

A distribuição da biomassa entre os componentes da parte aérea da planta, na média dos tratamentos avaliados, mostra que aproximadamente 80% da biomassa produzida pode ser utilizada na indústria, o que representa um elevado índice de colheita. Observa-se uma diferença de 32,6% a mais para o tratamento que recebeu composto, um valor expressivo, considerando-se a área total de eucalipto plantada em solos de textura arenosa no Estado de São Paulo. Entretanto, essa diferença não foi detectada pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, possivelmente, devido ao alto coeficiente de variação relacionado às variações não controladas no experimento. Andrade (2002), estudando os efeitos da aplicação de

composto de lixo e de fertilizante mineral em *Eucalyptus grandis* aos sete anos de idade, constatou um aumento de 36,9% em madeira com adição de 15 t ha⁻¹ de composto.

6.1.2 Teor de elementos minerais

Os dados de concentração de macronutrientes na matéria seca da parte aérea das plantas de eucalipto estão contidos na Tabela 11. Os resultados das análises químicas do tecido vegetal do eucalipto, revelaram que a aplicação de composto pouco influenciou a nutrição do eucalipto, os aumentos foram significativos apenas nos teores de P na casca e de K nas folhas e reduzindo os de Mg nas folhas. O baixo efeito provocado pelo composto nos teores de nutrientes foi devido à idade da amostragem, para Güerrini & Moro (1994), após 9 anos da sua aplicação, os nutrientes são diluídos com o crescimento das árvores, não apresentando diferenças significativas em suas concentrações.

Tabela 11 – Concentração média de macronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.

Partes da planta	Tratamentos	Concentração de Nutrientes (g kg ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Folha	Com	17,90 a	1,14 a	6,43 a	6,32 a	2,72 a	0,79 a
	Sem	17,05 a	1,07 a	5,39 b	6,56 a	3,05 b	0,87 a
	CV	7,09	13,15	20,12	22,76	17,59	14,88
	DMS	1,91	0,17	0,36	0,73	0,32	0,23
Tronco	Com	1,46 a	0,06 a	0,54 a	0,29 a	0,11 a	0,16 a
	Sem	1,36 a	0,05 a	0,57 a	0,32 a	0,12 a	0,15 a
	CV	17,49	32,22	37,12	32,75	25,78	24,15
	DMS	0,27	0,02	0,27	0,06	0,02	0,05
Galho	Com	3,87 a	0,48 a	2,34 a	3,93 a	1,36 a	0,20 a
	Sem	3,38 a	0,43 a	2,51 a	4,47 a	1,35 a	0,17 a
	CV	17,08	31,53	16,41	34,22	24,06	21,93
	DMS	1,48	0,11	0,47	1,19	0,26	0,05
Casca	Com	3,71 a	0,79 a	2,96 a	14,11 a	2,42 a	0,40 a
	Sem	3,38 a	0,48 b	2,82 a	15,04 a	2,18 a	0,46 a
	CV	14,53	49,79	21,56	27,28	31,52	37,61
	DMS	0,88	0,29	0,79	1,42	0,28	0,19

Médias da mesma coluna por característica da planta, seguida de mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Quanto ao N, apesar de não apresentar diferença significativa em nenhuma parte da planta, houve uma tendência de ganho na presença do composto, com maiores concentrações na parte aérea. Os resultados mostram grande quantidade de N, P, Ca e Mg concentrada na casca, demonstrando que a exploração da madeira com cascas, provoca uma grande remoção dos nutrientes do povoamento. As cascas contribuíram com aproximadamente 7,0% da biomassa, em ambos tratamentos, no entanto, concentraram uma quantidade significativa de macronutrientes, acima de 30% do total, mostrando a importância de se deixar a casca no campo, para manutenção do potencial produtivo do solo.

O teste de média detectou diferença nos teores de B e Zn na folha, B e Zn no tronco, B na casca e Zn no galho, mostrando que o composto influenciou significativamente nos teores desses nutrientes, com maiores incrementos de Zn (Tabela 12).

Tabela 12 – Concentração média de micronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.

Partes da planta	Tratamentos	Concentração de Nutrientes (mg kg ⁻¹)				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folha	Com	15,47 a	5,68 a	127,50 a	303,59 a	15,32 a
	Sem	13,86 b	5,57 a	115,43 a	350,78 a	13,36 b
	CV	14,80	17,82	16,24	30,90	15,98
	DMS	1,38	1,11	21,31	101,96	1,54
Tronco	Com	5,32 a	1,00 a	17,45 a	8,36 a	4,32 a
	Sem	3,98 a	1,00 a	23,52 a	11,96 a	3,13 b
	CV	24,82	0,00	12,66	22,84	28,16
	DMS	1,67	0,00	51,63	4,63	1,02
Galho	Com	6,56 a	3,18 a	59,32 a	270,73 a	11,13 a
	Sem	7,55 a	3,78 a	45,35 a	330,48 a	8,43 b
	CV	15,80	33,94	25,87	36,18	24,54
	DMS	3,92	1,66	15,22	114,56	1,30
Casca	Com	11,57 a	2,09 a	46,86 a	153,09 a	11,41 a
	Sem	10,78 b	1,87 a	36,61 a	198,91 a	8,70 a
	CV	14,81	21,70	45,34	62,18	70,14
	DMS	0,73	0,43	14,43	98,45	5,59

Médias da mesma coluna por característica da planta, seguidas de mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A resposta positiva à aplicação do composto orgânico aumentou em 11,6% e 14,7% os teores de B e Zn nas folhas, respectivamente. Barros et al. (1990) e Gonçalves et al. (1997) destacam a importância da manutenção de níveis adequados de B e Zn, em solos de textura arenosa, para manter a produtividade das florestas. Novais, et al. (1990) consideram

que os sintomas de deficiência desses dois micronutrientes, freqüentemente observados em condições de campo, ocorrem com mais freqüência em condições de solo de textura arenosa a média, que dada à baixa retenção de umidade, os problemas de transporte são agravados, além da maior pobreza dos solos nesses nutrientes. De acordo com Neves et al. (1990), um adequado fornecimento de micronutrientes às plantas, principalmente, B e Zn, constitui fator da mais alta relevância para que ocorra um adequado aproveitamento dos macronutrientes e, assim, para o sucesso e eficácia biológica e econômica da fertilização.

Os teores de Cu, Fe e Mn não apresentaram alterações significativas com a aplicação do composto. O teor de Mn diminuiu sensivelmente na presença do composto, em todos os componentes da planta analisados, embora sem apresentar diferença significativa. Para Trindade et al. (1996), isso pode ter ocorrido, entre outros fatores, pela atuação conjunta de microrganismos redutores e oxidantes de Mn, pois, o composto pode promover alterações na disponibilidade de Mn, seja pela complexação ou pelo efeito indireto do pH.

6.1.3 Conteúdo de elementos minerais

A adição do composto orgânico de lixo urbano influenciou significativamente, o maior acúmulo de N, P no tronco e K na casca. Não foram encontradas diferenças significativas entre os demais nutrientes analisados. Observou-se uma tendência de no tronco e na casca para todos os elementos, no tratamento com composto (Tabela 13).

Silva et al. (1983) consideram que a elevada quantidade de nutrientes, encontrada no tronco e na casca, demonstra que a exploração dos talhões florestais provoca uma grande remoção de nutrientes do sítio. Assim, o descascamento da madeira no campo resulta na redução da exportação de nutrientes. Para Gonçalves et al. (1997), a ciclagem de nutrientes responde pelo atendimento da maior parte da demanda nutricional das árvores, dependendo do estágio de desenvolvimento da floresta.

Não houve diferença significativa no conteúdo de nutrientes nas folhas e nos galhos, porém, ocorreu uma tendência de maior acúmulo, no tratamento sem composto, isso pode ter sido, em função do tratamento sem composto ter produzido uma quantidade maior de biomassa de folhas e galhos, em relação ao tratamento com composto.

Tabela 13 – Conteúdo médio de macronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.

Partes da planta	Tratamentos	Conteúdo de Nutrientes (kg ha ⁻¹)					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Folha	Com	25,78 a	1,53 a	8,19 a	8,44 a	3,77 a	1,08 a
	Sem	28,63 a	1,81 a	8,36 a	10,51 a	5,07 a	1,39 a
	CV	61,61	61,67	61,76	61,48	57,84	58,36
	DMS	11,86	0,77	3,50	3,32	1,46	0,49
Tronco	Com	90,70 a	4,08 a	33,09 a	16,12 a	6,55 a	10,91 a
	Sem	62,94 b	2,19 b	25,46 a	14,04 a	5,57 a	7,03 a
	CV	44,11	65,91	65,14	39,62	60,26	61,96
	DMS	15,69	1,37	8,11	6,13	1,44	4,74
Galho	Com	4,87 a	0,58 a	2,87 a	5,00 a	1,83 a	0,25 a
	Sem	10,12 a	0,91 a	6,92 a	13,33 a	4,34 a	0,49 a
	CV	58,04	69,13	68,24	67,69	64,38	61,14
	DMS	8,19	0,70	5,34	10,55	3,84	0,38
Casca	Com	17,65 a	3,07 a	14,29 a	76,53 a	12,30 a	2,41 a
	Sem	13,83 a	2,12 a	10,92 b	62,60 a	9,62 a	1,82 a
	CV	49,19	71,89	41,76	50,38	64,77	63,58
	DMS	5,04	0,77	3,06	23,47	3,19	2,43
Total	Com	138,99 a	9,27 a	58,45 a	106,10 a	24,46 a	14,65 a
	Sem	115,51 a	7,03 a	51,66 a	100,49 a	24,61 a	10,73 a
	CV	46,14	52,25	50,70	49,71	60,08	52,86
	DMS	34,56	2,52	11,94	39,72	8,88	7,52

Médias da mesma coluna por característica da planta, seguida de mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

A aplicação do composto lixo urbano influenciou significativamente o acúmulo de B e Zn na biomassa total do eucalipto. Observa-se que o tratamento com composto foi superior em 41,38% no acúmulo total de B e 68,76% no total de Zn (Tabela 14). De acordo com Barros et al. (1990), esses micronutrientes causam maiores preocupações na nutrição do eucalipto e, geralmente, encontram-se em quantidades inadequadas no solo, para o crescimento normal da maioria das culturas. Neste ponto, os resultados mostraram que o composto orgânico de lixo urbano, pode efetivamente ser uma alternativa como fonte desses nutrientes para o eucalipto.

Houve também uma diferença significativa na quantidade acumulada de Cu e Fe na casca, sendo maior no tratamento com composto. Nas demais partes da planta, observa-se uma tendência de maior acúmulo destes elementos para o tratamento com composto.

Tabela 14– Conteúdo médio de micronutrientes em árvores de eucalipto, por parte da planta, nos tratamentos com e sem composto.

Partes da planta	Tratamentos	Conteúdo de Micronutrientes (kg há ⁻¹)				
		B	Cu	Fe	Mn	Zn
Folha	Com	2,30 a	0,81 a	19,35 a	43,59 a	1,86 a
	Sem	2,52 a	0,89 a	21,13 a	62,16 b	2,06 a
	CV	65,11	62,47	62,32	565,60	58,60
	DMS	1,12	0,48	7,81	14,54	0,84
Tronco	Com	29,73 a	6,21 a	122,73 a	51,69 a	26,89 a
	Sem	17,66 b	4,68 a	95,11 a	55,90 a	14,20 b
	CV	40,96	41,20	50,12	58,09	53,67
	DMS	3,60	1,95	86,40	15,15	9,36
Galho	Com	0,81 a	0,41 a	6,92 a	38,41 a	1,38 a
	Sem	2,55 a	1,19 a	14,00 a	106,81 a	2,39 a
	CV	79,68	77,68	95,66	53,25	80,87
	DMS	2,17	0,94	11,18	80,63	1,82
Casca	Com	5,47 a	1,10 a	21,36 a	51,69 a	7,71 a
	Sem	4,38 a	0,76 b	12,79 b	55,90 a	3,17 a
	CV	50,84	60,55	45,28	91,43	126,64
	DMS	1,73	0,32	5,21	15,15	4,91
Total	Com	38,33 a	8,53 a	170,35 a	238,30 a	36,84 a
	Sem	27,11 b	7,52 a	143,03 a	333,30 a	21,83 b
	CV	44,38	46,23	47,22	68,14	46,57
	DMS	6,45	3,02	96,04	123,92	10,70

Médias da mesma coluna por característica da planta, seguida de mesmas letras, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

O Mn foi a exceção entre os micronutrientes, diminuindo na presença do composto, sendo que nas folhas a diferença entre os tratamentos foi significativa. Resultados semelhantes foram encontrados por Trindade et al. (1996) e Alves et al. (1999), segundo os autores, isso ocorre pela formação de complexos estáveis desse nutriente com a matéria orgânica.

6.1.4 Acúmulo de serapilheira

Foi encontrado 12.200 kg há⁻¹ e 9.400 kg há⁻¹ de serapilheira, nos tratamentos com e sem composto, respectivamente. Este aumento deve ter ocorrido, devido a maior quantidade de biomassa no tratamento com composto. Andrade (2002) encontrou o total 21.300 kg há⁻¹ de biomassa de serapilheira, com o uso de lixo urbano orgânico compostado,

em *Eucalyptus grandis*, aos 7 anos. Nas Tabelas 15 e 16, encontram-se os resultados de concentração e acúmulo de nutrientes no tratamentos avaliados

Tabela 15 – Teores médios de nutrientes na serapilheira de eucalipto, por tratamento.

Tratamentos	Concentração de nutrientes										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g.kg ⁻¹ -----					-----mg.kg ⁻¹ -----					
Com composto	10	0,4	0,7	7,1	1,3	0,5	15	9	959	331	14
Sem composto	9	0,3	0,8	6,1	1,4	0,4	11	8	908	282	14

Tabela 16 – Conteúdo médio de nutrientes na serapilheira de eucalipto, por tratamento.

Tratamentos	Conteúdo de nutrientes (kg ha ⁻¹)										
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----kg ha ⁻¹ -----					-----kg ha ⁻¹ -----					
Com composto	122,00	4,88	8,54	86,62	15,86	6,10	1,83	1,10	117,0	40,38	1,71
Sem composto	84,60	2,82	7,52	81,42	13,16	3,76	1,03	0,75	85,35	26,51	1,32

Os resultados mostraram maior acúmulo de N no tratamento com composto, em relação aos demais nutrientes, as diferenças são não tão expressivas. Andrade (2002) contabilizou, 154,5 kg ha⁻¹ de N, aos 7 anos de idade, em povoamento adubado com composto de lixo. De acordo com esse autor, a aplicação do composto de lixo urbano em eucalipto, possivelmente, aumenta o teor de matéria orgânica do solo nos estágios iniciais do desenvolvimento das árvores, contribuindo para um melhor desenvolvimento inicial e promove uma maior velocidade de decomposição da serapilheira, resultando no consumo mais rápido da matéria orgânica do solo.

Por outro lado, a manutenção da serapilheira controla a temperatura e mantém a umidade do solo. Temperaturas maiores causam maior perda de água para a atmosfera e aumentam o fluxo de solução do solo, além de aumentar a velocidade de decomposição da matéria orgânica. Gonçalves et al. (1999) verificaram, após 6 meses do corte raso de um povoamento de *E. grandis*, aos 7 anos, que a quantidade de serapilheira diminui de 24 para 16 t ha⁻¹, ou seja, houve decomposição de 34% dos resíduos. Isso indica que as quantidades de resíduos depositadas sobre o solo diminuem rapidamente após a remoção da floresta, de acordo com Gonçalves et al. (2002), isso ocorre devido à interrupção da deposição de resíduos e à aceleração das taxas de decomposição, provocada pela maior exposição dos resíduos à radiação solar, que provoca aumento da temperatura média dos resíduos.

6.1.5 Entrada e saída de nutrientes

Após a quantificação dos nutrientes na árvore, na serapilheira e no solo, foi realizado um balanço de nutrientes para cada tratamento, considerando o procedimento florestal adotado pela empresa, que processa a árvore no próprio local de plantio, e exporta somente o tronco. Com a diferença encontrada entre a entrada e a saída, obteve-se o saldo de nutrientes, em kg ha^{-1} , que ficou após a retirada da madeira. Esse balanço é apenas parcial, já que não foram quantificados os nutrientes da serapilheira no momento do plantio, das precipitações pluviométricas, etc.

Verificou-se, nesse balanço de nutrientes, que o tratamento que recebeu composto orgânico de lixo urbano em comparação com o tratamento sem composto, apresentou as maiores quantidades de nutrientes de saldo. Teoricamente, os resultados mostraram que o balanço foi positivo para ambos os tratamentos, ou seja, a entrada foi maior que a saída (Tabela 17). Porém, como no solo existe uma certa dinâmica dos nutrientes, não é uma ciência exata, não se permite tirar maiores conclusões a respeito.

Tabela 17 – Balanço nutricional da cultura do eucalipto, com a entrada e a saída de nutrientes, nos tratamentos com e sem composto.

Fluxo	Fonte	Nutrientes (kg ha^{-1})									
		N		P		K		Ca		Mg	
		Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
Entrada	Solo	-----	-----	12,0	12,0	15,6	15,6	77,9	77,9	77,9	77,9
	Adubação	334,5	64,5	178,2	142,2	222,0	89,0	440,0	125,0	123,0	80,0
Subtotal de entrada		334,5	64,5	190,2	154,2	237,6	104,6	517,9	202,9	200,9	157,9
Saída	Tronco	90,7	62,9	4,1	2,2	33,1	25,5	16,1	14,0	6,5	5,6
	Saldo	243,8	1,6	186,1	152,0	204,5	79,1	501,8	188,9	194,4	152,3

Observando os resultados, verifica-se que a quantidade de nutrientes minerais removidos ou exportados pelo tronco foi baixa em relação ao conteúdo de nutrientes aplicado pela adubação. Isso ocorreu, principalmente, devido ao descascamento no campo e pela manutenção dos resíduos culturais (folhas e galhos). O descascamento em campo representou na manutenção de 35,87 e 35,77% dos macronutrientes no local de plantio, nos tratamentos com e sem composto, respectivamente. Andrade (2002) observou que o descascamento da árvore no campo durante a colheita representou, em média, uma economia de 32% do estoque de nutrientes da biomassa aérea. Para Gonçalves & Mello (2000), o

descascamento no campo representou uma economia de nutrientes em torno de 30% do estoque contido na biomassa da parte aérea.

Os dados obtidos mostraram que no tratamento com composto, a exportação foi mais acentuada do que no tratamento sem composto, em virtude da menor relação copa/tronco, ou seja, o tratamento com composto produziu menos copa (folhas e galhos) e mais tronco, que o tratamento sem composto. A Tabela 18 mostra quanto teoricamente ficou de nutrientes no campo nos resíduos culturais, na serapilheira e no solo, após a colheita. Esses dados foram estimados, de acordo com análise química do material vegetal, no entanto, deve-se considerar a dinâmica dos nutrientes no solo, as suas reações químicas e a decomposição dos resíduos vegetais, que é variável conforme a idade e a componente da planta.

Tabela 18 – Nutrientes mantidos no campo após a colheita, nos resíduos culturais (folhas, galhos e casca), na serapilheira e no solo, nos tratamentos com e sem composto.

Fonte	Nutrientes (kg ha ⁻¹)									
	N		P		K		Ca		Mg	
	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem	Com	Sem
Resíduos culturais	48,29	52,57	5,2	4,8	25,4	26,2	89,9	86,4	17,9	19,0
Serapilheira	122,0	84,6	4,9	2,8	8,5	7,5	86,6	81,4	15,9	13,2
Solo	-----	-----	8,0	8,0	31,1	23,4	233,7	311,6	155,8	233,7
Total de estoque	170	137,2	18,1	15,6	65,0	51,1	410,2	479,4	189,6	265,9

De acordo com a Tabela 19, após a retirada da madeira, o estoque de nutrientes no tratamento com composto foi maior em N, P, K e, menor em Ca e Mg, que o tratamento sem composto. Como o balanço nutricional foi apenas parcial, os dados disponíveis não permitem tirar maiores conclusões a respeito. De acordo com Lima et al. (2002), o balanço entre as entradas e saídas constitui, sem dúvida, um indicador dos mais importantes no que diz respeito à sustentabilidade, pois, está relacionado com a manutenção do potencial produtivo do solo ao longo das sucessivas rotações.

6.2 Análise energética

Esta análise visa estabelecer os fluxos de energia, identificando sua demanda total e sua eficiência energética, refletida pelo ganho líquido de energia, dado pela relação

saída/entrada. Sendo refletida também, pela quantidade de energia necessária para produzir 1 m³ de madeira de eucalipto para fins de papel e celulose.

6.2.1 Energia total de entrada

Os resultados da conversão energética mostraram que o tratamento com composto com uma demanda energética de 43.871,80 MJ ha⁻¹, teve no seu sistema produtivo um aumento no consumo total de energia de 49,47%, em relação ao tratamento sem composto, com 29.351,32 MJ ha⁻¹. Destes, 41,76% foram devido ao composto, principalmente, em função do transporte da usina de compostagem a fazenda. Depois, 4,48% devido ao óleo diesel, em função da maior demanda de horas-máquinas, na aplicação do composto e na colheita, no tratamento com composto, provocado pela maior produção de biomassa de tronco.

Tabela 19 – Consumo de energias direta e indireta na produção de eucalipto, durante o ciclo de 9 anos, nos tratamentos com e sem composto.

Formas de energia	Rubrica	Consumo energético por tratamento (MJ ha ⁻¹)		Aumento no consumo devido ao composto		Percentual de energia direta e indireta em cada tratamento	
		Com	Sem	MJ ha ⁻¹	%	Com	Sem
Direta	Óleo diesel	16.008,97	14.692,84	1316,13	4,48	36,49	50,06
	Gasolina	1.644,62	1.246,23	398,39	1,36	3,74	4,24
	Lubrificantes	310,00	219,55	90,45	0,31	0,71	0,75
	Graxa	89,58	81,71	7,87	0,03	0,20	0,28
	Adubos + transporte	8.680,65	8.680,65	0,00	0,00	19,79	29,57
	Defensivos	2.315,53	2.315,53	0,00	0,00	5,28	7,89
	Composto + transporte	12.256,50	-----	12.256,50	41,76	27,94	-----
	Mudas	595,00	595,00	0,00	0,00	1,36	2,03
	Mão-de-obra	39,71	32,57	7,14	0,02	0,09	0,11
Subtotal de energia direta		41.940,56	27.864,08	14.076,48	47,96	95,60	94,93
Indireta	Tratores	934,72	725,21	209,51	0,71	2,13	2,47
	Implementos	992,85	759,39	233,46	0,80	2,26	2,59
	Motosserra	3,67	2,88	0,79	0,00	0,01	0,01
Subtotal de energia indireta		1.931,24	1.487,48	443,76	1,51	4,40	5,07
Total de energia consumida		43.871,80	29.351,56	14.520,24	49,47	100,00	100,00

O tratamento que recebeu composto teve um acréscimo em energia direta de 47,94%, demonstrando um maior consumo de insumos. Os responsáveis por essa diferença, por ordem de participação, foram: a fabricação e o transporte do composto (41,76%); o óleo

diesel (4,48%); a gasolina (1,36%); o lubrificante (0,31%) e a graxa (0,03). O aumento no consumo de gasolina no tratamento com composto foi devido a maior demanda no uso de motosserras, em função da maior quantidade de biomassa de tronco.

A alta participação do óleo diesel no consumo de energia, 36,49 e 50,06%, nos tratamentos com e sem composto, respectivamente, ocorreu, em função do elevado poder calorífico deste combustível, além de ser diretamente empregado em todas as atividades de produção do eucalipto, desde o preparo do solo até a colheita. Serra et al. (1979) observaram na cultura do eucalipto, um consumo com combustíveis de 71,6% do total de energia aplicada. Para a cana-de-açúcar 49,2%, mandioca 45,0%, algodão 39,4%, milho 50,6%, soja 56,2%, trigo 51,2% e tomate 20,0%. De acordo com Castanho Filho & Chabariberi (1983), o consumo com energia fóssil na agricultura paulista chegou a 79,6%.

O consumo de energia indireta com tratores e implementos foi na ordem de 0,73 e 0,78%, nos tratamentos com e sem composto respectivamente. A Tabela 20 mostra em detalhes a quantidade de insumos utilizada, o consumo horário das máquinas e os demais itens avaliados, assim como, o equivalente energético de cada componente.

Tabela 20 – Consumo de energia pelos fatores de produção envolvidos nas atividades de produção do eucalipto, nos tratamentos com e sem composto.

Fator produção	Operação	Consumo de produtos		Consumo energético(MJ ha ⁻¹)	
		Com	Sem	Com	Sem
Trator	Diversos	32,2 h	24,7 h	934,72	725,21
Motosserra	Colheita	46,0 h	36,1 h	3,67	2,88
Implementos	Diversos	32,2 h	24,7 h	992,86	759,39
Calcário	Fabricação + transporte	1.500,0 kg	1.500,0 kg	471,57	471,57
Composto	Fabricação	15.000,0 kg	-----	391,50	-----
Composto	Transporte	15.000,0 kg	-----	11.865,00	-----
N	Adubação química	64,5 kg	64,5 kg	4.708,50	4.708,50
P	Adubação química	142,3 kg	142,3 kg	1.849,25	1.849,25
K	Adubação química	89,0 kg	89,0 kg	801,00	801,00
NPK	Transporte	1.075,0 kg	1.075,0 kg	850,33	850,33
Óleo diesel	Combustível (geral)	364,4 L	333,4 L	16.008,97	14.692,84
Gasolina	Combustível colheita	48,3 L	36,6 L	1.644,62	1.246,23
Óleo lubrificante	Manutenção máq/impl	7,1 L	6,2 L	310,00	219,55
Graxa	Manutenção máq/impl	1,8 L	1,7 L	89,58	81,71
Herbicida	Tratos culturais	7,5 L	7,5 L	2.274,55	2.274,55
Inseticida	Tratos culturais	4,0 L	4,0 L	40,98	40,98
Mudas	Plantio	1.700,0 un.	1.700,0 *	595,00	595,00
Mão-de-obra	Diversos	39,7 MJ ha ⁻¹	32,5 MJ ha ⁻¹	39,71	32,57
Total				43.871,80	29.351,56

máq/impl = máquinas e implementos; h = hora; L = litros; *. =unidade

A participação da mão-de-obra, motosserra e inseticida foram insignificantes nos tratamentos avaliados, tanto que nem aparecem no gráfico. Mudas, lubrificante, tratores e implementos tiveram participações intermediárias. Óleo diesel se destaca em ambos os tratamentos, da mesma forma, se destaca a participação do transporte do composto, no tratamento com composto (Figura 1).

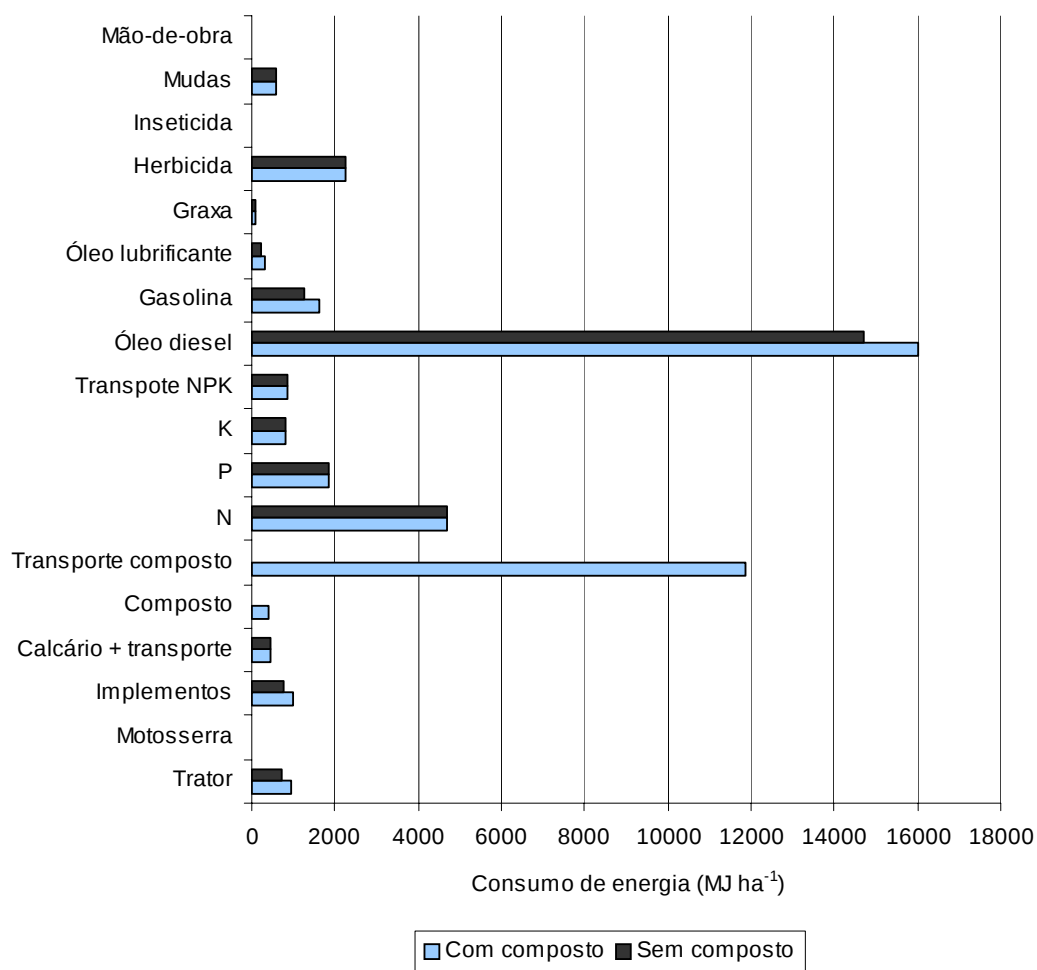


Figura 1 – Participação das principais atividades consumidoras de energia para a produção do eucalipto, nos tratamentos com e sem composto.

Apesar do consumo de N não ser o item com maior participação, os valores apresentados são significativos quando comparados a P e K. Além do alto consumo de N, a sua fixação é um processo que envolve alto investimento, uma vez que a captação de N_2

atmosférico é realizado através da sua redução por H, proveniente de compostos derivados do petróleo.

6.2.2 Consumo de energia com tratores e implementos agrícolas

O uso do composto provocou um aumento de 28,88%, no consumo de energia indireta com máquinas. Destes, 16,69% foi com tratores para baldeio da madeira, sendo causado em função do maior demanda de horas-máquinas no tratamento com composto. Esse aumento pode ser considerado positivo, pois, foi devido a maior produtividade de tronco no tratamento com composto. Depois, com 12,08% vem a distribuição do composto e, na seqüência, o aumento no consumo energético com motosserras, com 0,11% (Tabela 21).

Tabela 21 – Consumo de energia indireta das máquinas, nos tratamentos com e sem composto, nas três fases de produção do eucalipto.

Fases de cultivo	Implemento	Operação	Participação no consumo dentro do tratamento				Aumento devido ao composto
			Com		Sem		
			(MJ ha ⁻¹)	%	(MJ ha ⁻¹)	%	%
Implantação	Trator 90cv	Sulcagem	86,79	9,25	86,79	11,98	0,00
	Trator 85cv	Calagem	39,59	4,22	39,59	5,47	0,00
	Trator 85cv	Composto	87,99	9,38	-----	-----	12,08
	Trator 65cv	Plantio	9,15	0,98	9,15	1,26	0,00
	Trator 85cv	Irrigação	32,99	3,52	32,99	4,55	0,00
	Trator 85cv	Adubação/plantio	22,00	2,34	22,00	2,53	0,00
Subtotal da energia consumida na implantação			278,51	29,66	190,52	25,79	12,08
Manutenção	Trator 85cv	Adubação/manutenção	22,00	2,34	22,00	3,04	0,00
	Trator 65 cv	Replantio	9,15	0,98	9,15	1,26	0,00
	Trator 85cv	Capina química/EL	43,99	4,69	43,99	6,07	0,00
	Trator 65cv	Capina química/L	9,15	0,98	9,15	1,26	0,00
Subtotal da energia consumida na manutenção			84,29	8,99	84,29	11,63	0,00
Exploração	Motosserra	Colheita	3,67	0,39	2,88	0,40	0,11
	Trator 120cv	Baldeio	571,91	60,95	450,40	62,17	16,69
Subtotal da energia consumida na exploração			575,58	61,34	453,28	62,57	16,80
Total			938,38	100,00	728,09	100,00	28,88

A diferença entre os tratamentos, em relação a energia consumida com implementos foi mais influenciado pelas atividades de colheita, do que pelas atividades de aplicação do composto. Assim, os maiores consumos foram observados na fase de exploração,

provocados pelo equipamento conjugado, denominado de carreta autocarregável. Desta forma, a adição do composto fez aumentar o consumo com implementos, em 30,74%, isso ocorreu devido a maior demanda aplicada na distribuição do composto, com aumento de 6,40% e, à maior movimentação de tronco, com 24,34% (Tabela 22).

Tabela 22 – Consumo de energia indireta dos implementos, nos tratamentos com e sem composto, considerando as três fases de produção do eucalipto.

Fases de cultivo	Implemento	Operação	Participação no consumo dentro do tratamento				Aumento devido ao composto	
			Com		Sem			
			(MJ ha ⁻¹)	%	(MJ ha ⁻¹)	%		
Implantação	Sulcador/3 hastes	Sulcagem	21,45	2,16	21,45	2,82	0,00	
	Calcariador	Calagem	21,88	2,20	21,88	2,88	0,00	
	Calcariador	Composto	48,62	4,90	-----	-----	6,40	
	Carreta	Plantio	2,15	0,22	2,15	0,28	0,00	
	Tanque	Irrigação	13,73	1,38	13,73	1,81	0,00	
	Adubadeira	Adubação/plantio	2,86	0,29	2,86	0,38	0,00	
Subtotal da energia consumida na implantação			110,69	11,15	62,07	8,17	6,40	
Manutenção	Adubadeira	Adubação/manutenção	2,86	0,29	2,86	0,38	0,00	
	Carreta	Replantio	2,15	0,22	2,15	0,28	0,00	
	Pulverizador	Capina química/EL	5,72	0,58	5,72	0,75	0,00	
	Pulverizador	Capina química/L	1,43	0,14	1,43	0,19	0,00	
Subtotal da energia consumida na manutenção			12,16	1,23	12,16	1,60	0,00	
Exploração	C. autocarregável	Baldeio	870,01	87,63	685,17	90,23	24,34	
Total			992,86	100,00	759,39	100,00	30,74	

Quando comparado o consumo de energia direta e indireta, ficou bastante evidente, através da análise energética como foi baixo o consumo de energia indireta das máquinas e implementos, ficando claro, que na atividade florestal, exige-se um alto investimento em energia fóssil, exigindo também investimento em inovação constante na mecanização das operações de colheita.

O preparo do solo da área experimental, em ambos os tratamentos, como foi visto, foi realizado apenas por uma operação de sulcamento, de maneira a promover revolvimento sub-superficial do solo e dar condições do perfeito desenvolvimento das mudas plantadas. Este tipo de preparo propicia a manutenção, quase que total dos resíduos na superfície da área preparada. Assim, os restos culturais servem de barreira física ao escoamento de água no interior dos talhões, eliminando-se as construções de terraços, melhorando a conservação e a fertilização do solo. Além da manutenção da fertilidade do solo,

uma outra grande vantagem do cultivo mínimo, é a economia de energia com combustíveis. A baixa demanda de máquinas e implementos agrícolas na fase de preparo do solo, refletiu em aumento no consumo energético com máquinas na fase de exploração, e não na fase de implantação, como era de se esperar se fosse no sistema convencional.

A alta tecnologia das maquinarias utilizadas, é uma característica positiva do sistema de mecanização estudado. Observa-se que a mecanização das operações florestais, até então alicerçada em adaptações de equipamentos agrícolas ou improvisações caseiras, começa a adquirir característica própria. Por razões técnicas e sociais, se torna necessário o desenvolvimento de máquinas específicas para a aplicação florestal.

Uma destas razões é a necessidade do descascamento da madeira no campo, tarefa esta, que a antes era realizada na indústria. Para Lima et al. (2002), de todas as operações de manejo das plantações florestais, sem dúvida o preparo do solo e a colheita florestal são as que mais causam impactos ambientais, principalmente em termos de perdas de solo e do conseqüente assoreamento de cursos d'água. Por isso, a importância do cultivo reduzido do solo e da manutenção dos resíduos florestais.

6.2.3 Produtividade de madeira e eficiência energética

Os resultados mostraram que a aplicação de composto de lixo urbano, promoveu maior produção de matéria seca de eucalipto. A produtividade de madeira comercial obtida foi de 405,55 m³ ha⁻¹ e de 307,72 m³ ha⁻¹, para os tratamentos com e sem composto, respectivamente, apresentando um aumento sobre a produção de madeira em 31,8% a mais, para o tratamento com composto, um ganho de produção de 97,83 m³ ha⁻¹.

Após determinado o volume de madeira por unidade de área, foi realizado o cálculo da eficiência energética. O cálculo foi realizado a partir da densidade calculada da madeira, que foi de 0,47 e 0,44 g cm⁻³, respectivamente, nos tratamentos com e sem composto e, do poder calorífico do *Eucalyptus grandis*, de 16.000 kJ kg⁻¹ (25% de umidade), conforme Bauer (2001). Assim, o total de energia embutida na madeira produzida num ciclo de 9 anos, foi de 3.193.760 e 2.166.400 MJ ha⁻¹, nos tratamentos com e sem composto, respectivamente.

A energia consumida na produção da madeira no ciclo foi de 43.871,80 e 29.350,56 MJ ha⁻¹ para os tratamentos com e sem composto, respectivamente (Tabelas 17 e 18). Transformando-se esses dados, para MJ ha⁻¹ ano⁻¹ e, aplicando-se o conceito da Equação 9, obteve-se uma eficiência energética de 8,09 e 8,20, para os tratamentos com e sem composto, respectivamente. Serra et al. (1979) obtiveram para eucalipto em sistema convencional uma eficiência energética de 8,42.

Analizando-se a eficiência em função da energia gasta para produzir 1 m³ de madeira, chega-se a 12,02 e 10,60 MJ/m³ de madeira, nos tratamentos com e sem composto, respectivamente. Esses resultados confirmam o maior consumo energético no tratamento com composto, pois, apesar do composto apresentar baixa densidade energética, o grande volume transportado (15 t ha⁻¹), tornou-o preponderante para a maior participação no consumo total de energia, aumentando a contabilidade energética final.

Assim, é imprescindível, que o consumo energético com o transporte e aplicação do composto deve ser equiparado ou superado pelos benefícios advindos do aumento da produção de madeira comercial, se isto não acontecesse, merecida atenção deveria ser dada para estudar se existem outras vantagens. Provavelmente, a maior vantagem será observada a longo prazo, quanto ao aumento do teor de matéria orgânica, melhorando a estrutura do solo, assim como, pela manutenção de sua fertilidade.

7 CONCLUSÕES

A aplicação do composto lixo urbano influenciou significativamente o acúmulo de B e Zn na biomassa total do eucalipto e, os teores de P na casca e de K nas folhas e reduziu os de Mg nas folhas. Esses resultados permitem concluir que o composto de lixo urbano é uma alternativa como fonte de alguns nutrientes essenciais para a cultura do eucalipto, principalmente, dos micronutrientes B e Zn, que são atualmente as maiores preocupações na nutrição do eucalipto e, geralmente, encontram-se em quantidades inadequadas no solo, para o crescimento normal da maioria das culturas.

A análise energética revelou que os dois tratamentos foram eficientes no uso da energia, por apresentarem índices de conversão energética superiores à unidade. Fazendo, com que a energia gerada no processo fosse superior à energia investida, sugerindo a sustentabilidade dos dois sistemas. Porém, o tratamento com composto, mesmo produzindo 31,79% mais madeira, apresentou menor eficiência em relação ao tratamento sem composto, concluí-se, que isso ocorreu devido ao maior "input" energético deste tratamento, que foi cerca de 49,47% superior, ao tratamento sem composto.

É inegável os resultados positivos da aplicação do composto nos plantios florestais, para iniciar o processo de melhoria da fertilidade dos solos utilizados em reflorestamento de eucalipto. Porém, recomenda-se a continuação das pesquisas, principalmente, referente ao balanceamento de nutrientes, a sua manipulação e possíveis impactos que esses materiais possam causar ao ambiente.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W. L.; MELO, W. J.; FERREIRA, M. E. Efeito do composto de lixo urbano em um solo arenoso e em plantas de sorgo. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, n. 23, p.729-736, 1999.

ANDRADE, G. A. **Efeitos da aplicação de composto orgânico de lixo urbano e de fertilizante mineral em povoamentos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. Curitiba. 117p. 2002. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Florestais. Universidade Federal do Paraná.

ANDRADE, G. C.; MARTINEZ, M.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J. Efeito da aplicação de adubo fosfatado e resíduo de celulose no crescimento inicial de *Eucalyptus dunnii*. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS FLORESTAL E URBANA, 1., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1997. p.136-144.

BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A. A. Estoque de nutrientes nos resíduos da exploração de bracatingais. **Boletim Pesquisa. Florestal.**, Colombo, n.34, p.17-19, jan./jun. 1997.

BALANYÀ MARTÍ, T.; SANÀ VILASECA, J. GONZÁLEZ, M. L. Utilizacion de compost de resíduos sólidos urbanos en un viñedo del Penedés. **Viticultura Enologia Profesional**, Barcelona, n.31, mar./abr. 1994. p.20-25.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L. **Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto**. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F., eds. *Relação solo-eucalipto*. Viçosa. Folha de Viçosa, 1990. p.127-186.

BAUER, S. R. T. **Resíduos da exploração florestal de *Eucalyptus grandis* para geração de energia elétrica**. Botucatu, 2001. 54p. Dissertação (Mestrado agronomia/energia na agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 2001.

BEBER, J. A. C. **Eficiência energética e processos de produção em pequenas propriedades rurais, Agudo, RS.** Santa Maria, 1989. 295p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) – Universidade Federal de Santa Maria.

BEESP. Balanço Energético para o Estado de São Paulo. **Secretaria de Energia de São Paulo – 2001.** Ano Base /2000. Disponível em <<ftp://ftp.sp.gov.br/ftenergia/besp.exe>>. Acesso em: 20 de nov. 2003.

BRIDGES, T. C.; SMITH, E. M. A method for detemining the total energy imput for agricultural practices. **Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)**, v.22, n.4, p.781-784, 1979.

CAMPOS, A. T. **Balanço energético relativo à produção de feno de “coast-cross” e alfafa em sistema intensivo de produção de leite.** Botucatu, 2001. 236p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CARVALHO, A.; GONÇALVES, G. G.; RIBEIRO, J. J. C. **Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de Torres.** Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1974. 79p.

CARVALHO, S. M. R.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético de potencial de produção de biogás em granja de postura comercial na região de Marília, SP. **Energia na Agricultura.** v.16, n.1, p.41-61. 2001.

CASTANHO FILHO, E. P.; CHABARIBERY, D. Perfil energético da agricultura paulista. **Agric.** São Paulo, v. 30, tomos 1 e 2, p.63-115, 1983.

CLEMENTS, D. R.; WEISE, S. F.; BROWN, R.; STONEHOUSE, D. P.; HUME, D. J. Energy analysis of tillage and hebicide inputs in alternative weed management systems. **Agric., Ecosyst. Environ.**, v.52, n.2-3, p.119-128, 1995.

CLEVELAND, C. J. The direct and indirect use of fossil fuels and electricity in USA agriculture, 1910-1990. **Agric. Ecosyst. Environ.**, v.55, n.2, p.111-121, 1995.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de biossólidos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação.** São Paulo: CETESB, 1999. 33p.(CETESB. Portaria 4.230).

COSTA, C. A.; CASALI, V. W. D.; LOURES, E. G; CECON, R. P.; JORDÃO, C. P. Teor de metais pesados em alface (*Lactuca sativa* L.) adubada com composto orgânico de lixo urbano. **Rev. Ceres.** Viçosa v.48, n.238. p.629-640. 1994.

DALPONTE, J. C. V. **Utilização de materiais orgânicos e fertilizantes mineral na produção e qualidade de mudas e bulbos de cebola.** Pelotas, 1990. p.5-24. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Pelotas.

DEFELIPO, B.V.; NOGUEIRA, A. V.; LOURES, E. G.; ALVAREZ, V. H. Eficiência agrônômica do lodo de esgoto proveniente de uma indústria siderúrgica. **R. Bras. Ci. Solo**, n.15, 389-393, 1991.

DOERING, O. C.; PEART, R. N. **Evaluating alternative energy technologies in agriculture**. Agr. Exp. Sta., Purdue University, Indiana, 1977.

ESQUEDA, M. D.; LEÃO, A. L.; REIS, M. F. C. Ambiente, energia e educação ambiental: Temas relacionados aos resíduos sólidos urbanos. II Simpósio em Energia na Agricultura. FCA/UNESP, Botucatu, 2000. **Anais....v.2**, p.380-388.

FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D.; ANDRADE, G. C.; BELLOTE, A. F. J.; MORO, L. Deposição de material orgânico e nutrientes em plantios de *Eucalyptus grandis* em diferentes regimes de adubação. **Bol. Pesq. Fl.**, Colombo, n.43, p.75-86. 2001.

FRANCO, D. A. D. **Efeito de fontes de matéria orgânica sobre a ferrugem em mudas de cafeeiro**. Botucatu, 2003, 119p. Tese (Doutorado em Agronomia/Concentração em Proteção de Plantas). Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

GOMES, W. R.; PACHECO, E. Composto orgânico. **Boletim Técnico da ESAL**, n.11, p.3-11. 1988.

GOLDEMBERG, J. **Energia no Brasil**. Livros técnicos e científicos. São Paulo. 1979. 171p.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. V.; GONÇALVES, J. C. Florestais. **Boletim Técnico, 100, IAC**. Campinas, 1997. p.247-258.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V. (eds.) Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, FAPESP, 2000. Cap. 8, p.219-267.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; BENEDETTI, V.; FESSEL, V. A. G.; GAVA, J. L. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V., eds. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba, **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, 2002. p.3-57.

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; WICHERT, M. C. P.; GAVA, J. L. Manejo de resíduos vegetais e preparo do solo. In: GONÇALVES, J. L. M. & STAPE, J. L., eds. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba, **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, 2002. p. 132-204.

GORGATI, C. Q.; LUCAS JUNIOR, J. Compostagem da fração orgânica de lixo urbano do município de São Lourenço da Serra – SP: rendimento da produção de composto durante a estação de inverno. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.16, n.2. p.63-69, 2001.

GROLI, P. R.; KÄMPF, A. N. Crescimento inicial de *Grevillea robusta* em substratos com composto de lixo domiciliar urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 29, n. 5, p. 757-762, maio, 1994.

GUERRERO, J.S. J. Dimensão teórica da energia, economia e sociedade: integração no desenvolvimento da humanidade. **Economia Rural**, v.25, n.3, p.293-301, 1987.

GUERRINI, I. A.; MORO, L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1. 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1994. p.188-215.

HEICHEL, G. H.; MARTIN, N. P. Energy inputs and outputs for crop systems – field crops: alfafa. In: PIMENTEL, D. (ED.) **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton: CRC press, 1980. p.155-161.

IGUE, K. Energia e agricultura. **Manual agropecuário para o Paraná**. Londrina. IAPAR, v.3, p.227-228, 1980.

IGUE, K. Adubação orgânica. **Informe da Pesquisa**. Londrina. IAPAR, ano VIII, n.59, p.1-29, 1984.

JUNQUEIRA, A. A. B.; CRISCUOLO, P. D.; PINO, F. A. O uso da energia na agricultura paulista. **Agric**. São Paulo, v.29, tomos I e II, p.55-100, 1982.

KIEHL, J. E. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, J. E. Composto de lixo urbano. **Globo rural**, maio 1998.

KOSLOSKI, G. V.; CIOCCA, M. L. S. Energia e sustentabilidade em agroecossistemas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.4, p.737-744, 2000.

LEÃO, A. L. Geração de resíduos sólidos urbanos e seu impacto ambiental. In: MARTOS, H. L.; MAIA, N. B. **Indicadores Ambientais**. Sorocaba: PUC, Sorocaba, p.213-222, 1997.

LIMA, W. P.; MASSETO, A.V. Monitoramento ambiental de plantações de eucalipto em microbacias. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**. Piracicaba, v.24. n.3, p.7, 1997.

LIMA, P. W.; ZAKIA, M. J. B.; CÂMARA, C. D. Implicações da colheita florestal e do preparo do solo na erosão e assoreamento de bacias hidrográficas. In: GONÇALVES, J. L. M. & STAPE, J. L., eds. Conservação e cultivo de solos para plantações florestais. Piracicaba, **Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais - IPEF**, 2002. p. 373-391.

MACEDÔNIO, A. C.; PICCHIONI, S. A. **Metodologia para o cálculo do consumo de energia fóssil no processo de produção agropecuária**, v.1. Curitiba: Secretária de Estado de Agricultura, 1985. 95p.

- MALAVOLTA, E., VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1997. 201p.
- MAZUR, N.; SANTOS, G. de A.; VELLOSO, A. C. X. Efeito do composto de resíduo urbano na disponibilidade de fósforo em solo ácido. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, n. 7, p. 153-156, 1983.
- MORGA, A. Compostagem. In: CONGRESSO GAÚCHO DE MINHOCULTURA, 1, 1996. Pelotas. **Anais...**Federal de Pelotas: UFP, 1996. 46p.
- NAKAGAWA, J.; BÜLL, L. T.; PROCHNOW, L. I.; VILLAS BOAS, R. L. Estudo de obtenção de compostos orgânicos. **Científica**, São Paulo, v.19, n.2, p.61-74, 1991.
- NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS, R. F. **Fertilização mineral de mudas de eucalipto**. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa. Folha de Viçosa, 1990. p.99-124.
- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. **Nutrição mineral do eucalipto**. In: BARROS, N. F. & NOVAIS, R. F., eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa. Folha de Viçosa, 1990. p.25-91.
- OLIVEIRA, F. C. et al. Fitodisponibilidade e teores de metais pesados em um latossolo amarelo distrófico e em plantas de cana-de-açúcar adubadas com composto de lixo urbano. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Campinas, n. 26, p.737-746, 2002.
- OLIVEIRA, S. A.; MORAES, M. L. T.; BUZETTI, S. Efeito da adubação NPK com e sem boro no crescimento de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Rev. Inst. Flor.**, São Paulo, v. 13, n.2, p.115-120. 2001.
- PALMA, L.; ADAMS, R. I. Compatibilidade entre eficiência econômica e eficiência energética numa empresa rural. In: NETTO, A. G., CRUS, E. R. **Experiência brasileira de pesquisa econômica em energia para o setor rural**. Brasília: EMBRAPA – PNDE / DEP, 1984, p.55-64.
- PEIXOTO, R. T. G. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina, IAPAR, 1988. Circ. n.57, 47p.
- PELLIZZI, G. Use of energy and labour in Italian agriculture. **Agric. Eng. Res.** v.52, n.2, p.111-119, 1992.
- PEREIRA, NETO, J. T. Características, disponibilidade e usos alternativos de resíduos orgânicos de origem urbana. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS FLORESTAL E URBANA, 1., 1997, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 1997. p.105-109.
- PIMENTEL, D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton. 475p., 1980.

POGGIANI, F. COUTO, H. T. Z.; CORRADINI, L.; FAZZIO, E. C. M. Exportação de biomassa e nutrientes através da exploração dos troncos e das copas de um povoamento de *Eucalyptus Saligna*. **IPEF**, Piracicaba, n.25, p.37-39. 1983.

PRITCHETT, W. L. **Properties and management of forest soils**. New York: J. Wiley, 1979. 500p.

QUESADA, G.M.; BEBER, J.A.C.; SOUZA, S.P. de. Balanços energéticos agropecuários: uma proposta metodológica para o Rio Grande do Sul. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.39, n.1, p.20-28, 1987.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, QUAGGIO, J. A; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas & Fundação - IAC, FUNDAG, 1997. 286p.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas, Fundação Cargil, 2001. 170p.

REIS, M. G. F.; BARROS N. F. Ciclagem de nutrientes em plantios de eucalipto. In: BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa, Ed. Folha de Viçosa, 1990. p.265-301.

REZENDE, G. C.; GONÇALVES, S. C.; SIMÕES, S. W. Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto, sob duas densidades de plantio. **Árvore**. v.7, n.2, p.165-176. 1983.

RICHTER, H. V.; ADAMS, R. I. Competitividade da produção de cana-de-açúcar e mandioca para fins energéticos em duas regiões do Rio Grande do Sul. In: NETTO, A. G., CRUS, E. R. Experiência brasileira de pesquisa econômica em energia para o setor rural, 1984, Brasília. *Anais...*Brasília: EMBRAPA – PNPE / DEPM, 1984. p.13-35.

RIGATTO, P. A. **Influência dos atributos do solo sobre a produtividade e a qualidade da madeira de Pinus taeda para a produção de celulose Kraft**. Curitiba, 2002, 120p. Tese (Doutorado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Federal do Paraná.

RODRIGUES, L. F.; CAVINATTO, V. M. **Lixo: de onde vem, para onde vai?** São Paulo: Moderna, 1997. 79p.

SANCHES, O. A.; YONEZAWA, J. T.; ZEN, S. Evolução do cultivo mínimo em reflorestamento na Cia. Suzano de Papel e Celulose. In: I SEMINÁRIO SOBRE CULTIVO MÍNIMO DO SOLO EM FLORESTA, 1., 1995, Curitiba. *Anais...* Curitiba, 1995. p.140-147.

SANSÍGOLO, C. A.; BARREIROS, R. M. Qualidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de celulose kraft. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL DA ABTCP, 31., São Paulo, 1998. *Anais...* São Paulo: ABCP, 1998. p.417-429.

SANTOS, H. P.; IGNACZAK, J. C.; LHAMBY, J. C. B.; BAIER, A. C. Conversão e balanço energético de sistemas de rotação de culturas para triticales, sob plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.30, n 1, p.43-48, 2000.

SANTOS, R. C.; PACCOLA, A. A. Eficiência da aplicação de resíduo de branqueamento de argila como quelatizante de zinco na adubação do cafeeiro. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 2., 2000, Botucatu, **Anais....** Botucatu: FCA/UNESP, 2000. v.2, p.709-712.

SCHALCH, V. **Análise comparativa de comportamento de dois aterros sanitários semelhantes e correlações dos parâmetros do processo de digestão anaeróbia**. São Paulo, 1991. 220p. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo.

SCHROLL, H. Energy-flow and ecological sustainability in Danish agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.*, v.51, n.3, p.301-310, 1994.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos de ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis*. *Hillex maiden* e *Eucalyptus toreldiana f. mesell***. Piracicaba, 1992, 87p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

SERRA, G. E.; MOREIRA, J. R.; GOLDEMBERG, J.; HEEZEN, A. M. Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas. Relatório Final da Secretaria de Tecnologia Industrial. Ministério da Indústria e Comércio. **Publicações IFUSP/P-463, Universidade de São Paulo**, 86p. São Paulo. 1979.

SILVA, A. R. B.; GERMINO, R.; BENEZ, H. S. Produtividade da cultura da soja (*Glycine max*) em plantio direto sobre resteva de milho cultivado em diferentes sistemas de preparo do solo. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA-SINERGIA, 2., 2000, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP. 2000. p.601-608.

SILVA, H. D.; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus*. **Bol. Pesq. Flor.** Curitiba, v.6, n.71, 1983.

SILVA, M. L.; MACHADO, C. C. Influência do diâmetro e do número de árvores por hectare no custo de corte do eucalipto. **Rev. Árv.**, Viçosa, v. 19, p.308-318, 1995.

SORESINI, L. Benefícios sociais e econômicos da pesquisa florestal. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1., 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFV, 1993. p.300-305.

SOUZA, F. Um endereço para o nosso lixo. **Meio Ambiente**. 2000. p.21-23.

STRINGHETA, A. C. O.; RODRIGUES; L. A.; FONTTES; L. E. F.; COSTA, C. A. Caracterização física de substrato contendo composto de lixo urbano e casca de arroz carbonizada como condicionadores. **R. Bras. Ci. Solo**, Campinas, n.21, p.155-159, 1997.

SUITER FILHO, W.; DE RESENDE, G. S.; TONINELLO, S. L.; DABÉS, A. D.. et al. Considerações sobre o Balanço Energético de Florestas de Eucalipto. **Silvicultura**, São Paulo. v.8, n. 28, p.887-890, 1983.

TIBAU, A. O. **Matéria orgânica e fertilidade do solo**. São Paulo. Nobel. 1981. 176p.

TRINDADE, A. V.; VILDOSO, C. I. A.; MUCHOVEJ, R. M. C.; COSTA, L. M. .Interação de composto de lixo urbano e fungos micorrízicos na nutrição e crescimento do milho. **Rev. Brasileira. Ci. Solo**, Campinas, n. 20, p.199-208, 1996.

ULBANERE, R. C. **Análise dos balanços energético e econômico relativa à produção e perdas de grãos de milho no Estado de São Paulo**. Botucatu, 1988, 127p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, 1988.

WHITE, D. J. Energy in agricultural systems. **The agricultural Engineer**. Bedford, v.30, n.3, p.52-58, 1975.

ZEN, S.; BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D.; FERREIRA, C. A. Resíduos urbanos como fonte de nutrientes em povoamento de eucalipto. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1994, p.25-39.

ZENTNER, R.P.; STUMBORG, M.A.; CAMPBELL, C.A. Effect of crop rotations and fertilization on energy balance in typical production systems on the Canadian prairies. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.25, n.2/3, p.217-232, 1989.