

GABRIEL WILLIAM DIAS FERREIRA

**RESÍDUOS DA COLHEITA DO EUCALIPTO: CICLAGEM DE NUTRIENTES  
E USO DA ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA  
PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2012

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

F383r  
2012

Ferreira, Gabriel William Dias, 1987-

Resíduos da colheita do eucalipto : ciclagem de nutrientes e uso da espectroscopia do infravermelho próximo para predição da composição química / Gabriel William Dias Ferreira. – Viçosa, MG, 2012.  
v, 65 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Emanuelle Mercês Barros Soares.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Ciclagem de nutrientes. 2. Eucalipto. 3. Espectroscopia do infravermelho. 4. Serapilheira. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 631.81

GABRIEL WILLIAM DIAS FERREIRA

**RESÍDUOS DA COLHEITA DO EUCALIPTO: CICLAGEM DE NUTRIENTES  
E USO DA ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA  
PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 26 de junho de 2012

---

Júlio César Lima Neves

---

Leonardus Vergütz

---

Haroldo Nogueira Paiva

---

Ivo Ribeiro da Silva  
(Presidente da Banca)

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e por me fazer crer que seria possível.

Aos meus pais, por todo apoio.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade.

À CAPES/CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa NUTREE e empresas colaboradoras. Em especial à CENIBRA, pela cessão do NIRS.

À Prof<sup>a</sup>. Emanuelle Mercês Barros Soares, pelos ensinamentos, orientação, confiança e amizade.

Ao Prof. Ivo Ribeiro da Silva, por todo apoio dispensado, orientação e amizade.

Ao Prof. Nairam Félix de Barros, pelo exemplo e simplicidade na realização do trabalho.

Aos Prof. Júlio César Lima Neves, Haroldo Nogueira Paiva e Leonardus Vegütz, pelas valiosas contribuições.

Ao Prof. Paulo Roberto Cecon, pelas orientações estatísticas.

Aos membros dos Laboratórios de Solos Florestais e Isótopos Estáveis, pelas incontáveis ajudas e os momentos compartilhados.

Aos estudantes de iniciação científica, que me acompanharam e muito me ajudaram.

À Karina Pulronik e Ivan Souza, pela condução de parte deste experimento.

Aos colegas e amigos da pós-graduação e funcionários do DPS, pelo convívio.

À Fernanda Caparelli, por estar sempre ao meu lado.

Às minhas três casas em Viçosa e seus moradores, por se tornarem minha família.

À todos que, de alguma forma, participaram e contribuíram para a realização deste trabalho.

Deixo aqui meus sinceros agradecimentos.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>iv</b>
<b>I. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>2. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>2</b>
<b>II. CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>3</b>
<b>CICLAGEM DE NUTRIENTES DOS RESÍDUOS DA COLHEITA DO EUCALIPTO EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>3</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>4</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>6</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>9</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>22</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>22</b>
<b>6. ANEXOS .....</b>	<b>26</b>
<b>III. CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>38</b>
<b>USO DA ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DA COLHEITA DE EUCALIPTO .....</b>	<b>38</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>38</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>39</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>40</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>41</b>
<b>2.1 Localização e caracterização do experimento .....</b>	<b>41</b>
<b>2.2 Análise dos resíduos .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.1 Análises químicas .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.2 NIRS – Espectroscopia do Infravermelho Próximo .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.2.1 Preparo de amostras e obtenção do espectro .....</b>	<b>43</b>
<b>2.2.2.2 Calibração e Validação .....</b>	<b>44</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>60</b>
<b>5. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>
<b>IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>65</b>

## RESUMO

FERREIRA, Gabriel William Dias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2012. **Resíduos da colheita do eucalipto: ciclagem de nutrientes e uso da espectroscopia do infravermelho próximo para predição da composição química.** Orientador: Emanuelle Mercês Barros Soares. Coorientadores: Ivo Ribeiro da Silva e Nairam Félix de Barros.

A grande demanda por produtos oriundos das florestas de eucalipto faz com que se busquem formas adequadas de manejá-las, a fim de se obter elevadas produções em ciclos cada vez mais curtos. A grande exportação de nutrientes na colheita dos povoamentos gera preocupações sobre a sustentabilidade do ambiente e da produção dos ciclos subsequentes. A manutenção dos resíduos na área surge como alternativa para minimizar essa exportação, liberar gradualmente os nutrientes à próxima rotação e favorecer os estoques de matéria orgânica do solo (MOS), de papel fundamental nos solos de regiões tropicais. Esses processos são governados por fatores de clima, solo e qualidade do material vegetal. A avaliação da composição do material vegetal é feita por análises químicas trabalhosas e com grande consumo de tempo e reagentes. O uso de métodos espectroscópicos pode tornar esse processo mais simples, com resultados de boa confiabilidade. Os objetivos desse estudo foram avaliar a liberação de nutrientes pela decomposição dos resíduos da colheita do eucalipto e testar a viabilidade da espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) para predizer a composição química dos mesmos. As amostras utilizadas foram obtidas de dois experimentos distintos. Experimento 1: oito tratamentos definidos por um fatorial 2x2x2, sendo presença ou não da casca, com ou sem aplicação de N, mantidos em superfície ou incorporados, coletados em cinco tempos, até três anos em dez locais diferentes do Brasil, distribuídos por quatro estados. Foram determinados os teores de Ca, Mg, N, P, K e S. Não foi observada influência significativa da aplicação de N na liberação de nutrientes. A presença da casca aumentou os estoques de nutrientes na área e acelerou a liberação. A incorporação também aumentou a velocidade de liberação dos nutrientes. Os nutrientes tiveram comportamentos semelhantes nos locais avaliados, contudo, as taxas foram diferentes. Em geral, K foi o nutriente mais rapidamente liberado, enquanto o Ca teve liberação mais lenta. Mg, S, N, e P tiveram liberação mais gradual, tendendo a acompanhar a taxa de decomposição dos resíduos. Para todos os nutrientes, com exceção do K, foram observadas algumas fases de imobilização. Experimento 2: *litter bags* alocados em cinco povoamentos de eucalipto localizados em regiões distintas do

Extremo Sul da BA, sendo quatro tratamentos, resultantes da combinação de resíduos de árvores submetidas ou não a altas doses de N, e presença ou ausência de casca, coletados em cinco tempos, até um ano após a instalação do experimento. Foram determinados os teores de C, N, lignina insolúvel Klason, lignina solúvel, extrativos e holocelulose. Foram selecionadas, com base na distribuição de frequência, 308 amostras que foram utilizadas na análise NIRS. Foram testadas 21 formas de pré-processamento espectral, variando entre a correção do espalhamento e aplicação de derivadas, até o segundo nível. Em cada uma das combinações, aplicou-se a técnica de análise de componentes principais (PCA) para identificar *outliers* e definir os grupos de calibração e validação. Com uso da mPLS (regressão modificada dos mínimos quadrados parciais) relacionou-se os espectros obtidos com os valores determinados pelos métodos químicos. Os modelos foram avaliados pelos resultados da validação cruzada e validação externa. Os modelos obtidos foram considerados eficientes na predição de todas as características, em todos os tempos, sendo para N e extrativos os mais acurados. Quando se utilizou formas diferenciadas de pré-processamento espectral para cada componente, ajustaram-se modelos com maior capacidade preditiva. O uso de apenas uma forma de pré-processamento (StdMSC 2<sup>a</sup> d.) possibilitou prever o comportamento de todos os constituintes avaliados com boa precisão, apesar de não ter sido identificado como a melhor forma de pré-processamento para cada constituinte individualmente. Assim, verificou-se que é viável a utilização do NIRS para predição das transformações sofridas por diferentes componentes dos resíduos da colheita do eucalipto em decomposição.

## ABSTRACT

FERREIRA, Gabriel William Dias, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2012. **Eucalypt harvest residues: nutrient cycling and near-infrared spectroscopy to predict chemical composition.** Advisor: Emanuelle Mercês Barros Soares. Co-advisors: Ivo Ribeiro da Silva and Nairam Félix de Barros.

The demand for eucalypt forests products are high, which leads research to find appropriate management practices to reach higher productions in shorter cycles. The potential nutrient export from harvested plantations raises concern about environmental wood production sustainability. The maintenance of the harvest residues on the field is an alternative to reduce this exportation, returning nutrient to soil in an available form and increasing soil organic matter stocks, which plays a major role in tropical soils' quality. These processes are complex and are controlled by a mix of variables related to climate, soil and plant quality. The determination of plants chemical composition is usually done by laborious methods with are both time and reagents consuming. The use of spectroscopy methods can lead to simpler analyses, with results comparable to standard techniques. The aims of this study were to evaluate the nutrient release from the decomposing eucalypt harvest residue and test the viability of the near-infrared spectroscopy (NIRS) to predict its chemical composition. The samples used came from two distinct experiments. Experiment 1: eight treatments defined by a factorial 2x2x2 that included de-barking on field or not, supply of external mineral N or not, and placement of harvest residue (surface or incorporation). They were carried out in 10 Brazilian sites and sampled five times (0, 3, 6, 12 and 36 months) after experiment installation. We determined the contents of Ca, Mg, N, P, K and S. The results showed that there was no influence of external N supply. De-barking on field raised the nutrient stock that remains in the area and accelerates nutrient release from the residue. Incorporation of harvest residues also speeds up nutrient release. The nutrients seemed to behave similarly at the 10 sites evaluated, although the immobilization and mineralization rates were different. In general, K was released faster and Ca was the slowest. Mg, S, N, and P were released in a fairly constant rate, closely linked to biomass loss. For all nutrients evaluated, but K, some immobilization periods were observed. Experiment 2: samples were obtained from a litter bag experiment placed in five eucalypt stands in Southern Bahia. It consisted of four treatments that were the combination of eucalypt harvest residues (leaves + branches or leaves + branches + bark) which came from plants grown under different N supply levels (fertilized and



unfertilized with 320 kg ha<sup>-1</sup> N), thus having different internal N. Litter bags were collected five times (0, 1, 3, 6 and 12 months) after experiment installation. The content of C, N, Klason lignin, soluble lignin, holocellulose and extractives were determined. We selected 308 samples based on their frequency to test NIRS viability. We tried 21 pre-processing techniques that were combinations of scatter correction and derivatives. In each one we used the principal component analyses (PCA) to identify outliers and define the calibration and validation sets. Using the modified partial least square regression (mPLS) we related the chemical data to the spectra. The models were evaluated using the results of cross validation and external validation. For all characteristics in all stages of decomposition the models were considered efficient whereas for N and extractives the most accurate ones. Using different pre-processing techniques for each characteristic we were able to develop models with better predictive capacity. However, we were able to predict the behavior of all characteristics with good accuracy using just one pre-processing combination (StdMSC 2<sup>nd</sup>d.), despite the fact that this combination hasn't been identified as the best to each characteristic alone. Therefore, it has been shown that it is feasible to predict the chemical composition of decomposing eucalypt harvest residues by NIRS.

## I. INTRODUÇÃO GERAL

Florestas de eucalipto desempenham papel fundamental no sequestro de CO<sub>2</sub> da atmosfera e no estoque de C no sistema solo-planta. Estima-se que essas florestas possam fixar até 400 t ha<sup>-1</sup> de CO<sub>2</sub> durante seu crescimento (ECOAR, 2003). Se manejadas corretamente, podem aumentar os estoques de C do solo (Pultronik et al., 2009), que poderia mitigar significativamente parte do CO<sub>2</sub> da atmosfera, devido ao maior tempo de residência (Lal, 2005).

O quadro que se tem hoje nos plantios de eucalipto é que após sua colheita fica na área uma grande quantidade de resíduos, cuja porção significativa (galhos e casca) é constituída por compostos bastante lignificados, que podem contribuir diretamente para a formação de compostos orgânicos mais estáveis no solo. Acrescenta-se a isso o grande potencial de ciclagem de nutrientes, que pode reduzir os custos com fertilizantes e amenizar a pressão sobre as reservas de nutrientes.

O manejo apropriado dos materiais aportados ao solo pode ajudar a compatibilizar as taxas de liberação dos nutrientes com as necessidades da cultura (Guo & Sims, 2002). Grande parte dos nutrientes necessários ao crescimento do povoamento tem sua liberação atrelada à decomposição dos materiais vegetais (Costa et al. 2005; Hernández et al., 2009). Entretanto, nem sempre são coincidentes, ocorrendo fases de liberação e imobilização. O melhor conhecimento da composição química do material e sua interação com o ambiente permite inferir com maior precisão sobre o seu comportamento, bem como sobre sua influência sobre a matéria orgânica do solo (Martens, 2000), de papel fundamental sobre a produção e sustentabilidade dos povoamentos (Barros & Comerford, 2002).

A caracterização química geralmente é feita por métodos químicos laboriosos, demorados, com grande consumo de reagentes e, em certos casos, com riscos ao pesquisador, devido ao uso de ácidos concentrados. O uso da espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) é uma alternativa que já se mostrou viável em estudos de decomposição (Gillon et al., 1999; Ono et al., 2008; Parsons et al., 2011). Para o eucalipto, já vem sendo largamente utilizada para seleção de clones no melhoramento genético (Baillères et al., 2002). Entretanto, sua aplicabilidade para caracterização de resíduos de eucalipto em decomposição ainda não foi testada.

Esta dissertação é composta por dois capítulos. No primeiro, a ciclagem de nutrientes dos resíduos da colheita do eucalipto é abordada em diferentes locais do

Brasil, representativos na produção de madeira. Diferentes manejos de resíduos, baseados nas técnicas atualmente utilizadas, são testados para verificar sua influência sobre o comportamento dos nutrientes nos diferentes locais. No segundo capítulo, a viabilidade do uso do NIRS foi avaliada para prever a composição química de resíduos de eucalipto em decomposição.

## 2. LITERATURA CITADA

BAILLÈRES, H.; DAVRIEUX, F.; HAM-PICHAVANT, F. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a eucalyptus breeding program. *Ann. For. Sci.*, 59:479–790, 2002.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.487-592.

COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. *R. Árvore*, 29:563-570, 2005.

GILLON, D.; JOFFRE, R.; IBRAHIMA, A. Can litter decomposability be predicted by near infrared reflectance spectroscopy? *Ecology*, 80:175-186, 1999

GUO, L.B.; SIMS, R.E.H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand: II. Internal Effects. *Soil Bio. Biochem.*, 34:913-922, 2002.

HERNÁNDEZ, J.; DEL PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. *For. Ecol. Manag.*, 258:92-99, 2009.

ECOAR – Instituto Ecoar para cidadania. Efeito estufa. São Paulo, 2003. 5p.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Manag.*, 220:242-258, 2005.

MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. Biochem.*, 32:361-369, 2000.

ONO, K.; MIKI, K.; AMARI, M.; HIRAI, K. Near-infrared reflectance spectroscopy for the determination of lignin-derived compounds in the decomposed and humified litters of coniferous and deciduous temperate forests in Northern Kanto District, Central Japan. *Soil Sci. and Plant Nut.*, 54:188-196, 2008.

PARSONS, S.A.; LAWLER, I.R.; CONGDON, R.A.; WILLIAMS, S.E. Rainforest litter quality and chemical controls on leaf decomposition with near-infrared spectrometry. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 174:710-720, 2011.

PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1125-1136, 2009.

## II. CAPÍTULO 1

### CICLAGEM DE NUTRIENTES DOS RESÍDUOS DA COLHEITA DO EUCALIPTO EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL

#### RESUMO

O impacto da exportação de nutrientes na colheita de povoamentos de eucalipto gera preocupações sobre a sustentabilidade do ambiente e da produção dos ciclos seguintes. Contudo, a manutenção no campo de componentes não comerciais pode minimizá-lo. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar a ciclagem de nutrientes dos resíduos da colheita do eucalipto em 10 locais do Brasil. Foram testadas as influências da presença da casca, da aplicação externa de N e da incorporação ou não dos resíduos. Amostras dos resíduos foram coletadas em cinco tempos (0, 3, 6, 12 e 36 meses) após a instalação do experimento. Foram determinados os teores e estoques remanescentes de Ca, Mg, N, P, K e S. O comportamento de cada nutriente ao longo do tempo, em cada local, foi comparado por ANOVA e explicado pelo modelo exponencial simples ( $X=X_0e^{-kt}$ ). Os resultados indicaram que a ciclagem de nutrientes foi semelhante nos diferentes locais avaliados, com fases de imobilização e liberação, porém com taxas diferentes. Os melhores ajustes do modelo exponencial simples foram obtidos, em ordem decrescente, para o K, N, P, Mg, S e Ca. Os piores ajustes para o Ca e S se justificam pelas expressivas fases de imobilização encontradas. Para todos nutrientes, com exceção do K, foram observadas imobilizações. Em geral, o K foi o nutriente liberado mais rapidamente, enquanto o Ca teve liberação mais lenta. Mg, N, P e S tiveram liberação mais gradual, tendendo a acompanhar a perda de massa do resíduo. A presença da casca aumentou significativamente o estoque de todos os nutrientes que permanece na área. A presença da casca também acelerou a liberação dos nutrientes, com exceção para o K. A incorporação dos resíduos acelerou a velocidade de liberação de todos os nutrientes avaliados. Não foi observada influência significativa da aplicação de N sobre a ciclagem de nutrientes.

**Palavras-chave:** Decomposição; liberação de nutrientes; imobilização de nutrientes.

# NUTRIENT RELEASE FROM EUCALYPT HARVEST RESIDUES AT BRAZILIAN SITES

## ABSTRACT

The potential export of nutrients by eucalypt plantations harvest raises concern about environmental and wood production sustainability. However, keeping non commercial components in the field can minimize it. So, this study aimed to evaluate the amounts of nutrients in eucalypt harvest residues and their contribution to nutrient cycling at 10 Brazilian sites. We studied the influence of de-barking in the field, the use of an external source of nitrogen and the management of harvest residues (incorporated or remained on the surface). After the experiment setup residues were sampled five times (0, 3, 6, 12 and 36 months). At each time remaining contents and stocks of Ca, Mg, N, P, K and S were determined. The nutrients behavior over time at each site was compared by ANOVA and explained by single exponential decay model ( $X=X_0e^{-kt}$ ). The results showed that the nutrients release was similarly at different sites, presenting immobilization and mineralization stages, but in different rates. The best fitting models were obtained, in descending order, to K, N, P, Mg, S, and Ca. The worst fitting to Ca and S are explained by the expressive immobilization stages they showed. In general, K was the nutrient released faster and Ca the slower one. Mg, N, P, and S were released in a fairly constant rate, closely linked to biomass loss. De-barking on field raised the stock of all nutrients that remain in area. De-barking also accelerated their liberation, except for K. The nutrient release was also faster when the residues were incorporated. We couldn't find any influence of an external mineral N supply over the nutrient cycling.

**Keywords:** Decomposition; nutrient release; nutrient immobilization.

## 1. INTRODUÇÃO

É notória a expansão dos plantios florestais no Brasil, principalmente do gênero *Eucalyptus*. A grande demanda por produtos oriundos dessas florestas faz com que se busquem formas adequadas de manejá-las, a fim de se obter elevadas produções em ciclos cada vez mais curtos. Grande parte desses povoamentos está localizada sobre solos de baixa fertilidade natural e a elevada exportação de nutrientes pela colheita da

madeira tem gerado preocupações sobre a sustentabilidade do ambiente e da produção das rotações subsequentes.

Leite et al. (2010) demonstraram alterações nas propriedades químicas do solo com o cultivo do eucalipto, diminuindo os teores de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{K}^+$  trocáveis, apontando para a necessidade de utilização de uma adubação que previna a exaustão de nutrientes no solo. Essa preocupação aumenta uma vez que os preços dos fertilizantes tendem a continuar subindo e as reservas mundiais de nutrientes, embora ainda suficientes para um futuro previsível, são finitas (Fixen & Johnston, 2012).

A utilização de manejos conservadores, como a manutenção dos resíduos da colheita na área, minimiza a exportação de nutrientes e tende a reduzir as quantidades necessárias de fertilizantes minerais para suprir a demanda do povoamento (Bellote et al., 2001; Barros & Comerford, 2002). Essa prática ainda aumenta o aporte de carbono ao solo (Gatto et al., 2010) e eficiência de adubação (Bellote et al., 2008), e reduz os impactos causados pelo tráfego de máquinas da colheita (Silva et al., 2007). Esse maior aporte de C ao solo geralmente eleva os estoques de matéria orgânica do solo (Pulronik et al., 2009).

Os ciclos biológicos e bioquímicos são preponderantes no crescimento inicial de povoamentos de eucalipto em regiões tropicais (Laclau et al., 2010a). Segundo os autores, é essencial se utilizar de manejos que favoreçam esses ciclos, pois grande parte dos nutrientes absorvidos nos primeiros meses após plantios são provenientes da mineralização de compostos orgânicos.

Laclau et al. (2010b) afirmaram que a massa de resíduos vegetais presentes no solo no momento do plantio de um povoamento de *Eucalyptus* sp. foi um excelente indicador do crescimento do ciclo. Contudo, a magnitude dos benefícios obtidos pela manutenção dos resíduos na área depende da taxa de decomposição dos mesmos.

Atualmente, com o uso crescente de adubação nitrogenada em plantios de eucalipto visando o aumento da produtividade, muito se especula sobre a possibilidade de alterações na qualidade do material que chega ao solo, afetando sua decomposição e tempo de residência. A maior parte dos índices utilizados para prever a dinâmica da decomposição dos materiais aportados ao solo leva em conta a quantidade de N presente no material. Dentre eles, destacam-se as relações C/N, lignina/N, N/P e o teor inicial de N (Cobo et al., 2002; Osono & Takeda, 2004; Hobbie, 2008).

Descascar a madeira no campo também pode conduzir a alterações na taxa de decomposição dos resíduos. A casca de eucalipto é conhecida por sua grande proporção de nutrientes (Santana et al., 2008) e compostos fenólicos (Kögel-Knabner, 2002), que

tendem a ter um maior tempo de decomposição (Martens, 2000). Entretanto, na literatura são relatadas diferentes taxas de decomposição para a casca de eucalipto (Nzila et al., 2002; Hernández et al., 2009). E, segundo Vivanco & Austin (2011), um material de composição química diferente pode influenciar na decomposição dos demais, quando combinados. Destaca-se ainda a forte interação do N com os taninos, um dos principais componentes da casca (Kraus et al., 2003). Em clima tropical, são poucos os estudos que testaram essas interações.

Em plantios de eucalipto, algumas outras práticas, como a incorporação dos resíduos da colheita, são utilizadas, embora não tão frequentes. A incorporação dos resíduos da colheita é relatada na literatura como uma técnica simples que tende a manter em níveis elevados o teor de C no solo (Lal, 2004), sendo seu efeito otimizado com a fertilização nitrogenada (Lugato et al., 2006). Estes mesmos autores destacam que essas considerações são extremamente dependentes da qualidade do material aportado e de características do solo (Six et al., 2002; Lugato et al., 2006).

Estudos que tentam prever a dinâmica dos materiais lenhosos aportados ao solo e seu potencial de liberação de nutrientes indicam que as taxas de liberação de nutrientes nem sempre acompanham as taxas de decomposição, sendo observadas épocas de grande imobilização de certos nutrientes (Shammas et al., 2003; Hernández et al., 2009). Esses processos tendem a ser governados por fatores relacionados ao material vegetal (Guo & Sims, 2002) e externos, como a temperatura e disponibilidade de água (Guo & Sims, 2001), indicando para a necessidade de estudos cada vez mais específicos.

Guo & Sims (2002) afirmam que a liberação de nutrientes pode ser alterada quando se conhece os padrões de liberação e sua relação com o ambiente. Assim, deve-se utilizar de práticas específicas para que se adeque à necessidade da cultura. Mediante ao exposto, o presente estudo teve como objetivos avaliar a liberação de nutrientes em diferentes locais do Brasil, bem como avaliar o efeito da composição do resíduo e sua interação com a presença de N externo e formas de manejo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

Os dados foram obtidos de uma rede de experimentos do programa NUTREE instalados em plantios comerciais de eucalipto situados em 10 locais, distribuídos por quatro estados brasileiros (Quadro 1).

Quadro 1 – Localização e características de clima e solo dos experimentos e suas respectivas épocas de instalação.

Estado	Município	Clima <sup>(1)</sup>	Precip. <sup>(2)</sup>	Temp. <sup>(3)</sup>	Solo	Argila <sup>(9)</sup>	Início do experimento <sup>(10)</sup>
BA	Eunápolis	Af	1192	24,0	PAd <sup>(4)</sup>	10,8	julho/2007
ES	Aracruz	Aw	1311	23,6	PAdx <sup>(5)</sup>	31,4	julho/2007
	Belo Oriente	Aw	1272	24,3	LVAd <sup>(6)</sup>	64,7	agosto/2007
	Curvelo	Aw	1224	23,0	LVd <sup>(7)</sup>	67,3	fevereiro/2008
	Itamarandiba	Cwb	1104	20,8	LVd <sup>(7)</sup>	76,2	abril/2008
MG	João Pinheiro	Aw	1383	22,7	RQo <sup>(8)</sup>	10,8	setembro/2007
	Três Marias	Aw	1297	22,2	LVAd <sup>(6)</sup>	15,0	setembro/2007
	Vazante	Aw	1199	26,5	LVAd <sup>(6)</sup>	64,8	abril/2008
	Virginópolis	Cwa	960	20,5	LVd <sup>(7)</sup>	72	agosto/2007
SP	Mogi-Guaçu	Cwa	1242	21,6	LVd <sup>(7)</sup>	15,4	fevereiro/2009

<sup>(1)</sup> Segundo a classificação climática de Köppen; <sup>(2)</sup> Precipitação média anual (mm); <sup>(3)</sup> Temperatura média anual (°C); <sup>(4)</sup> Argissolo Amarelo; <sup>(5)</sup> Argissolo Amarelo coeso; <sup>(6)</sup> Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico; <sup>(7)</sup> Latossolo Vermelho distrófico; <sup>(8)</sup> Neossolo quartzarênico; <sup>(9)</sup> Valores em dag kg<sup>-1</sup>; <sup>(10)</sup> diferentes épocas foram decorrentes da dificuldade de instalação simultânea nos diferentes locais.

Utilizando-se do delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, em cada localidade foram dispostos oito tratamentos, em arranjo de parcelas subdivididas, sendo o período de amostragem (tempo) alocado nas parcelas e os demais fatores aplicados às subparcelas. Os tratamentos resultaram em um fatorial 2 x 2 x 2, em que foram avaliadas duas composições de resíduos: manutenção ou retirada da casca; duas formas de manejo dos resíduos: deixados à superfície (cultivo mínimo) ou incorporados a 5 cm de profundidade; e dois níveis de adubação nitrogenada: sem N e 200 kg ha<sup>-1</sup> N. Cada uma dessas subparcelas (unidades experimentais) consistiu de tubos de PVC de 15 x 15 cm (altura e diâmetro), aprofundados no solo até a profundidade de 10 cm e cobertos com tela para impedir a entrada de material externo, uma vez que os experimentos foram conduzidos em campo. Alguns furos foram realizados para impedir acúmulo de água e permitir a movimentação da fauna do solo.

Os resíduos foram aplicados em doses equivalentes a 31,7 e 21,7 t ha<sup>-1</sup>, para os tratamentos com e sem casca, respectivamente, conforme mostra o Quadro 2. Nos tratamentos com presença de N, utilizou-se da fonte nitrato de amônio (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) diluído em água deionizada para permitir uniformidade de aplicação. Nos tempos 0, 3, 6, 12 e 36 meses após a instalação do experimento (parcelas), os tubos foram coletados para a realização das análises do material. Em Itamarandiba, não houve coleta aos três meses e em Mogi-Guaçu as coletas foram realizadas até os 12 meses após a instalação do experimento.



Quadro 2 – Quantidade de resíduos aplicados em cada unidade experimental (UE) e sua caracterização química.

Componente	g UE <sup>-1</sup>	C	N	P	K	Ca	Mg	S
		g kg <sup>-1</sup>						
Folha	3,6	514,10	19,43	1,51	8,50	5,75	2,75	2,17
Galho	9,8	473,80	2,50	0,09	1,09	3,57	0,41	0,25
Lenho	7,0	476,80	1,83	0,09	1,24	0,57	0,18	0,12
Raiz	18,0	461,20	3,04	0,18	1,55	1,35	0,31	0,33
Casca	17,6	435,40	2,88	0,69	4,01	24,65	3,48	0,42

Nos referidos tempos de coleta, os resíduos foram limpos e separados do solo, acondicionados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar até obtenção de massa constante. Foram, então, pesados para obter a massa seca remanescente e moídos em moinho do tipo Wiley. Subamostras foram submetidas à digestão nitro-perclórica e determinados os teores de Ca, Mg (espectrofotometria de absorção atômica), K (fotometria de emissão de chama), P (colorimetria, método do complexo fosfomolibdico, reduzido com ácido ascórbico, modificado por Braga & Defelipo, 1974), S (turbidimetria), enquanto o N foi determinado pelo método de Kjeldahl, após digestão sulfúrica. Estes métodos estão descritos com maiores detalhes em Bataglia et al. (1983).

Os teores (g/kg) e estoques (kg/ha) de cada nutriente, obtidos pela multiplicação dos teores pela massa seca remanescente extrapolada por ha, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, pelo teste F, os efeitos foram considerados como significativos ( $p < 0,05$ ), tendências ( $0,05 < p < 0,1$ ) ou não significativos ( $p > 0,1$ ). As médias dos tratamentos, em cada tempo e região, foram discriminadas por meio do teste Scott-Knott (1974) a 5 % de probabilidade, com o uso do programa SISVAR (Ferreira, 1999).

Para explicar o comportamento dos nutrientes ao longo do tempo, ajustou-se o modelo exponencial simples, proposto por Olson (1963):

$$X = X_0 e^{-kt}$$

em que X é a matéria seca remanescente após um período de tempo t; X<sub>0</sub> é a massa seca inicial e k é a taxa constante de decomposição, a qual pode ser calculada pela equação  $-k = \ln(X/X_0) / t$ .

O tempo necessário para a liberação de 50 % (t<sub>0,5</sub>) da quantidades inicial de cada nutriente foi calculado pela equação: t<sub>0,5</sub> (dia) = ln (2) / k.

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

As análises de variância dos teores e estoques de nutrientes foram realizadas com os dados originais. Considerando que grande parte das interações foi significativa ( $p < 0,05$ ), realizaram-se os devidos desdobramentos, e a discriminação das médias dos tratamentos ao longo do tempo estão apresentados nos Quadros 5 a 10 (anexo). Não foi possível comparar as regiões por meio de testes estatísticos devido à grande heterogeneidade da variância do erro.

No Quadro 3 estão apresentados os resultados obtidos para cálcio, magnésio e enxofre. No Quadro 4 foram reunidos os resultados para nitrogênio, fósforo e potássio. São apresentadas as estimativas para o tempo de meia vida, o coeficiente de determinação do modelo, o estoque inicial do nutriente e a quantidade do nutriente remanescente após 365 e 1095 dias de decomposição, para cada tratamento, dentro de cada local avaliado.

Quadro 3 – Coeficiente de determinação do modelo ( $R^2$ ), tempo de meia vida ( $t_{0,5}$ ), estoque inicial e quantidades remanescentes do nutriente aos 365 e 1095 dias de decomposição.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	Ca					Mg					S				
		$R^2$	$t_{0,5}$ <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	Ca <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	Ca <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	$R^2$	$t_{0,5}$ <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	Mg <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	Mg <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	$R^2$	$t_{0,5}$ <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	S <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	S <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>
<b>Eun.</b>	+C,+N,Sup.	0,45	770	292,99 b	105	24	0,89	257	46,45 b	44	5	0,88	533	13,82 b	72	17
	-C,+N,Sup.	0,04	ns	47,48 a	248	56	0,67	578	11,76 a	87	11	0,85	495	9,65 a	70	12
	+C,+N,Inc.	0,51	693	292,99 b	91	21	0,88	158	46,45 b	32	9	0,78	693	13,82 b	80	31
	-C,+N,Inc.	0,02	ns	47,48 a	97	97	0,70	210	11,76 a	37	17	0,79	347	9,65 a	38	24
	+C,-N,Sup.	0,42	990	292,99 b	115	41	0,86	330	46,45 b	49	11	0,67	533	13,82 b	60	20
	-C,-N,Sup.	0,09	ns	47,48 a	170	65	0,72	578	11,76 a	77	18	0,73	630	9,65 a	85	22
	+C,-N,Inc.	0,27	ns	292,99 b	95	28	0,82	110	46,45 b	29	11	0,75	630	13,82 b	80	45
	-C,-N,Inc.	0,07	ns	47,48 a	214	65	0,66	462	11,76 a	81	21	0,80	408	9,65 a	93	19
<b>Ara.</b>	+C,+N,Sup.	0,39	1155	292,99 b	106	46	0,87	495	46,45 b	65	18	0,69	693	13,82 b	90	28
	-C,+N,Sup.	0,00	ns	47,48 a	152	154	0,81	990	11,76 a	94	46	0,39	770	9,65 a	76	43
	+C,+N,Inc.	0,55	866	292,99 b	121	27	0,70	315	46,45 b	49	12	0,46	1155	13,82 b	71	62
	-C,+N,Inc.	0,00	ns	47,48 a	124	202	0,70	365	11,76 a	72	50	0,27	1155	9,65 a	69	59
	+C,-N,Sup.	0,18	ns	292,99 b	110	66	0,71	866	46,45 b	69	40	0,48	990	13,82 b	75	54
	-C,-N,Sup.	0,00	ns	47,48 a	165	119	0,43	1155	11,76 a	112	43	0,75	693	9,65 a	68	37
	+C,-N,Inc.	0,49	693	292,99 b	100	23	0,71	408	46,45 b	62	11	0,62	693	13,82 b	80	29
	-C,-N,Inc.	0,00	ns	47,48 a	90	124	0,66	433	11,76 a	67	46	0,46	990	9,65 a	71	47
<b>BO</b>	+C,+N,Sup.	0,40	1386	292,99 b	99	58	0,88	248	46,45 b	38	14	0,60	866	13,82 b	65	49
	-C,+N,Sup.	0,21	ns	47,48 a	87	65	0,82	239	11,76 a	33	23	0,53	630	9,65 a	43	46
	+C,+N,Inc.	0,73	533	292,99 b	69	19	0,86	139	46,45 b	31	6	0,81	533	13,82 b	48	33
	-C,+N,Inc.	0,00	ns	47,48 a	51	108	0,89	133	11,76 a	29	11	0,38	630	9,65 a	51	36
	+C,-N,Sup.	0,41	1733	292,99 b	79	61	0,87	239	46,45 b	40	13	0,48	866	13,82 b	57	52
	-C,-N,Sup.	0,08	ns	47,48 a	105	84	0,77	533	11,76 a	65	29	0,06	ns	9,65 a	61	84
	+C,-N,Inc.	0,73	578	292,99 b	70	25	0,86	173	46,45 b	34	6	0,55	866	13,82 b	79	44
	-C,-N,Inc.	0,50	533	47,48 a	80	23	0,85	187	11,76 a	36	10	0,39	866	9,65 a	55	50
<b>Curv.</b>	+C,+N,Sup.	0,69	77	292,99 b	70	36	0,68	267	46,45 b	43	17	0,68	533	13,82 b	48	35
	-C,+N,Sup.	0,08	ns	47,48 a	73	74	0,00	ns	11,76 a	69	81	0,31	630	9,65 a	37	50
	+C,+N,Inc.	0,94	257	292,99 b	33	7	0,73	148	46,45 b	35	6	0,83	301	13,82 b	41	14
	-C,+N,Inc.	0,08	ns	47,48 a	99	61	0,02	ns	11,76 a	118	57	0,48	693	9,65 a	71	38
	+C,-N,Sup.	0,86	578	292,99 b	64	24	0,71	289	46,45 b	45	18	0,84	578	13,82 b	61	30

Continua...

Quadro 3 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	Ca					Mg					S				
		R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	Ca <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	Ca <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	Mg <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	Mg <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	S <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	S <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>
Curv.	-C,-N,Sup.	0,24	1386	47,48 a	75	64	0,00	ns	11,76 a	77	83	0,30	770	9,65 a	46	57
	+C,-N,Inc.	0,84	533	292,99 b	57	26	0,53	385	46,45 b	43	27	0,52	495	13,82 b	40	41
	-C,-N,Inc.	0,25	ns	47,48 a	100	43	0,15	ns	11,76 a	120	33	0,66	495	9,65 a	61	21
Ita.	+C,+N,Sup.	0,35	1386	292,99 b	66	56	0,85	231	46,45 b	32	24	0,13	ns	13,82 b	43	69
	-C,+N,Sup.	0,09	ns	47,48 a	45	78	0,81	289	11,76 a	31	25	0,39	578	9,65 a	37	38
	+C,+N,Inc.	0,93	277	292,99 b	32	20	0,96	99	46,45 b	14	11	0,78	770	13,82 b	56	42
	-C,+N,Inc.	0,56	630	47,48 a	45	39	0,85	136	11,76 a	26	17	0,70	495	9,65 a	40	34
	+C,-N,Sup.	0,54	990	292,99 b	67	49	0,83	277	46,45 b	40	21	0,45	866	13,82 b	48	51
	-C,-N,Sup.	0,11	ns	47,48 a	73	69	0,69	578	11,76 a	58	32	0,34	1155	9,65 a	44	59
	+C,-N,Inc.	0,85	408	292,99 b	40	17	0,98	128	46,45 b	14	9	0,32	ns	13,82 b	41	51
	-C,-N,Inc.	0,52	990	47,48 a	57	50	0,82	151	11,76 a	26	23	0,08	ns	9,65 a	49	75
JP	+C,+N,Sup.	0,64	693	292,99 b	91	28	0,79	248	46,45 b	49	8	0,58	770	13,82 b	84	37
	-C,+N,Sup.	0,21	ns	47,48 a	146	39	0,36	770	11,76 a	92	35	0,14	ns	9,65 a	99	73
	+C,+N,Inc.	0,80	365	292,99 b	57	7	0,92	95	46,45 b	21	4	0,50	693	13,82 b	58	39
	-C,+N,Inc.	0,21	ns	47,48 a	88	44	0,30	148	11,76 a	64	36	0,28	1155	9,65 a	74	48
	+C,-N,Sup.	0,56	990	292,99 b	86	46	0,77	231	46,45 b	40	18	0,75	1155	13,82 b	89	49
	-C,-N,Sup.	0,12	ns	47,48 a	98	65	0,47	866	11,76 a	53	44	0,22	ns	9,65 a	84	69
	+C,-N,Inc.	0,75	462	292,99 b	72	12	0,87	89	46,45 b	25	6	0,78	533	13,82 b	66	19
	-C,-N,Inc.	0,81	217	47,48 a	27	18	0,82	144	11,76 a	19	12	0,71	385	9,65 a	41	23
TM	+C,+N,Sup.	0,56	1386	292,99 b	76	57	0,49	462	46,45 b	42	32	0,41	1155	13,82 b	68	65
	-C,+N,Sup.	0,36	1155	47,48 a	95	47	0,49	866	11,76 a	77	37	0,51	866	9,65 a	84	38
	+C,+N,Inc.	0,69	408	292,99 b	60	17	0,84	94	46,45 b	20	15	0,59	578	13,82 b	47	33
	-C,+N,Inc.	0,36	69	47,48 a	98	38	0,57	385	11,76 a	46	22	0,78	533	9,65 a	52	27
	+C,-N,Sup.	0,48	1155	292,99 b	79	49	0,64	315	46,45 b	45	21	0,49	630	13,82 b	69	38
	-C,-N,Sup.	0,24	ns	47,48 a	90	70	0,41	1155	11,76 a	88	47	0,50	630	9,65 a	52	43
	+C,-N,Inc.	0,77	408	292,99 b	61	16	0,72	133	46,45 b	34	7	0,59	433	13,82 b	41	18
	-C,-N,Inc.	0,35	990	47,48 a	102	48	0,56	533	11,76 a	74	20	0,70	495	9,65 a	53	29
Vaz.	+C,+N,Sup.	0,75	408	292,99 b	49	22	0,90	142	46,45 b	21	6	0,74	385	13,82 b	40	21
	-C,+N,Sup.	0,24	770	47,48 a	34	55	0,47	433	11,76 a	32	37	0,50	462	9,65 a	42	39

Continua...

Quadro 3 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	Ca					Mg					S				
		R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	Ca <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	Ca <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	Mg <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	Mg <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	S <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	S <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>
Vaz.	+C,+N,Inc.	0,88	193	292,99 b	23	2	0,91	88	46,45 b	15	1	0,62	315	13,82 b	33	5
	-C,+N,Inc.	0,58	408	47,48 a	79	4	0,84	131	11,76 a	101	3	0,82	347	9,65 a	50	5
	+C,-N,Sup.	0,81	347	292,99 b	56	11	0,80	173	46,45 b	37	8	0,72	533	13,82 b	81	18
	-C,-N,Sup.	0,13	ns	47,48 a	70	64	0,35	462	11,76 a	55	81	0,23	ns	9,65 a	132	39
	+C,-N,Inc.	0,88	158	292,99 b	18	11	0,90	72	46,45 b	13	5	0,75	315	13,82 b	39	17
	-C,-N,Inc.	0,51	210	47,48 a	13	17	0,82	158	11,76 a	25	10	0,64	408	9,65 a	55	9
Virg.	+C,+N,Sup.	0,29	2311	292,99 b	101	66	0,85	301	46,45 b	45	15	0,23	1733	13,82 b	64	75
	-C,+N,Sup.	0,34	990	47,48 a	125	39	0,86	347	11,76 a	47	21	0,37	990	9,65 a	70	57
	+C,+N,Inc.	0,64	578	292,99 b	73	23	0,80	144	46,45 b	34	8	0,65	866	13,82 b	61	49
	-C,+N,Inc.	0,31	ns	47,48 a	105	23	0,69	385	11,76 a	50	20	0,00	ns	9,65 a	59	98
	+C,-N,Sup.	0,58	1155	292,99 b	88	44	0,89	277	46,45 b	41	16	0,40	990	13,82 b	67	61
	-C,-N,Sup.	0,49	990	47,48 a	111	45	0,91	533	11,76 a	62	22	0,37	1386	9,65 a	71	67
	+C,-N,Inc.	0,80	462	292,99 b	54	26	0,89	142	46,45 b	30	9	0,18	ns	13,82 b	62	75
-C,-N,Inc.	0,63	495	47,48 a	62	26	0,86	173	11,76 a	31	17	0,04	ns	9,65 a	59	81	
Mogi	+C,+N,Sup.	0,80	86	292,99 b	33	-	0,84	54	46,45 b	26	-	0,48	128	13,82 b	39	-
	-C,+N,Sup.	0,11	257	47,48 a	66	-	0,45	178	11,76 a	62	-	0,61	128	9,65 a	41	-
	+C,+N,Inc.	0,79	59	292,99 b	24	-	0,88	26	46,45 b	14	-	0,39	110	13,82 b	36	-
	-C,+N,Inc.	0,58	101	47,48 a	29	-	0,52	101	11,76 a	42	-	0,15	ns	9,65 a	45	-
	+C,-N,Sup.	0,90	77	292,99 b	28	-	0,92	50	46,45 b	20	-	0,61	110	13,82 b	35	-
	-C,-N,Sup.	0,34	144	47,48 a	64	-	0,64	110	11,76 a	52	-	0,37	110	9,65 a	29	-
	+C,-N,Inc.	0,91	44	292,99 b	13	-	0,93	30	46,45 b	16	-	0,67	96	13,82 b	34	-
-C,-N,Inc.	0,55	105	47,48 a	41	-	0,64	80	11,76 a	27	-	0,23	ns	9,65 a	33	-	

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virgínia; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; <sup>(3)</sup> Tempo de meia-vida, em dias; Cálculo com base nos ajustes do modelo exponencial simples – ns: indica que os parâmetros do modelo foram não significativos a 5 % de probabilidade pelo teste F; <sup>(4)</sup> Estoque inicial do nutriente (kg/ha) - Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade; <sup>(5)</sup> Quantidade remanescente observada do nutriente após 365 e 1095 dias de decomposição, expressa em % relativa ao estoque inicial (100 %).

A manutenção da casca na área influencia positivamente o estoque inicial remanescente de todos os nutrientes. Em especial, para o Ca, o estoque inicial chega a ser 6 vezes maior. Para o Mg, S, N, P e K os números são menores, variando entre estoques de 1,4 e 4 vezes maiores. Para todos os nutrientes, os estoques iniciais na ausência ou presença da casca diferem estatisticamente a 5 % de probabilidade.

Em povoamentos de *E. grandis* e *E. saligna* no estado de SP, Santana et al. (1999) verificaram a importância do descascamento no campo, afirmando que a manutenção da casca evita a exportação de 58 % do Ca, 47 % do Mg, 27 % do P, 22 % do K e 14 % do N. Sabendo que as proporções de nutrientes que são alocadas na casca diferem entre espécies, idades e regiões, Santana et al. (2008) realizaram um amplo estudo em diferentes regiões do Brasil e encontraram expressiva quantidade de nutrientes alocadas nas cascas das espécies, indicando que o descascamento na área tende a contribuir para uma produção mais sustentável em povoamentos de eucalipto.

Apesar das expressivas diferenças iniciais, em geral, após os três anos de decomposição avaliados, as quantidades remanescentes dos nutrientes, nos diferentes tratamentos, dentro de cada região, não diferiram estatisticamente entre si, o que indica para uma liberação mais rápida e em maior quantidade quando a casca estava presente. Porém, tal comportamento diferiu bastante entre os nutrientes avaliados. Em geral, o Ca teve as menores taxas de liberação e o K as maiores.

Aos 1095 dias de decomposição, Vazante apresentou a menor quantidade de Ca remanescente e Aracruz teve a menor quantidade de Ca liberada. Ressalta-se que na região de Mogi-Guaçu, em que a decomposição foi avaliada até os 365 dias, os teores de Ca até este tempo foram os menores observados.

Para o Ca, em todas regiões avaliadas expressivas imobilizações foram observadas, principalmente nos tratamentos com ausência da casca. Destaca-se Aracruz, que nesses tratamentos, a quantidade de Ca ao final de três anos era maior que a inicial, chegando a ter o dobro do estoque inicial. Tal fato também pôde ser observado em outras regiões, mas não na mesma magnitude. Imobilizações de Ca em taxas semelhantes foram encontrados por Shammass et al. (2003). Porém, após dois anos de decomposição, foram encontradas liberações líquidas do nutriente, o que não ocorreu no presente estudo na região de Aracruz.

Os processos de imobilização e liberação são, em grande parte, controlados pela atividade dos micro-organismos do solo. A atividade dos mesmos tende a controlar a importação ou exportação de nutrientes para serem utilizados juntos com o carbono da planta para formação de seus tecidos (O'Connell, 1988). Segundo Shammass et al.

(2003), é comum a retirada de Ca do solo por fungos com a consequente imobilização em cristais de oxalato de Ca sobre hifas fungicas.

Essas imobilizações trouxeram dificuldades para o ajuste do modelo exponencial. Observando o Quadro 3, percebe-se que, para o Ca, foram obtidos os piores valores de  $R^2$  e a maior quantidade de modelos com parâmetros não significativos. Em um estudo da decomposição de 12 diferentes tecidos vegetais, variando entre folhas e lenho, Cobo et al. (2002) também encontraram dificuldades em ajustar o modelo exponencial simples para estimar a liberação de Ca devido a imobilizações do nutriente no tecido vegetal. Os autores afirmaram que o nutriente apresentou a menor taxa de liberação para a maioria dos tecidos avaliados.

Imobilizações de Ca são comumente encontradas na literatura. Para eucalipto, este fato também foi relatado por Guo & Sims (2002), Ribeiro et al. (2002), Shammas et al. (2003), Zaia & Gama-Rodrigues (2004), Alvarez et al. (2008), Goya et al. (2008) e Hernández et al. (2009), enquanto Costa et al. (2005) verificaram fases de acumulação e liberação. No presente estudo, as diferenças entre os teores do nutriente nos tecidos ao longo do tempo foram significativas (Quadro 5, anexo).

Nzila et al. (2002) e Hernández et al. (2009) encontraram que o Ca foi o nutriente com menor liberação entre os avaliados em um povoamento de *Eucalyptus* sp., no Congo, e *E. dunnii* Maiden, no Uruguai, respectivamente. Por ser um importante componente estrutural da parede celular, sua liberação está atrelada à destruição dessas estruturas. Os últimos autores relatam que esse comportamento ocorreu devido à baixa taxa de liberação encontrada da casca. Em outro estudo, no entanto, a casca acelerou a decomposição dos resíduos de eucalipto, assim como a incorporação (Souza, 2012).

Analisando o Quadro 3, nota-se que o ajuste do modelo exponencial para o Mg foi satisfatório, com exceção para Curvelo, onde, nos tratamentos com ausência de casca, observou-se ajuste não significativo, devido ao acúmulo do nutriente ao longo do tempo (Quadro 6, anexo). Embora possam ser observados alguns períodos de pequenas imobilizações do nutriente, também observados por Hernández et al. (2009), e por Guo & Sims (2002), em maior intensidade, os bons ajustes mostram que a liberação de Mg tende a acompanhar a perda de massa do resíduo. O mesmo comportamento foi observado em diversos estudos de decomposição e liberação de nutriente (Cobo et al., 2002; Costa et al., 2005; Hernández et al., 2009).

Em geral, cerca de 50 % de todo Mg tinha sido liberado após 365 dias de decomposição, e apenas 20 % do Mg inicial permanece no resíduo ao final dos três anos. Eunápolis e Curvelo apresentaram as menores e maiores, respectivamente,

quantidades de Mg ao final do experimento. Os tratamentos com incorporação de resíduos, na presença da casca, tiveram os menores tempos de meia vida de magnésio.

Assim como para o Ca, foram encontradas dificuldades para ajustar o modelo exponencial para estimar a liberação de S, devido às variações entre fases de imobilização e mineralização (Quadro 7, anexo). Ribeiro et al. (2002) também verificaram flutuações no comportamento do S em povoamentos de *Eucalyptus globulus* em Portugal, com acúmulos de até duas vezes a concentração inicial do nutriente, maiores que os observados no presente trabalho. Blair (1988) afirmou que as relações C/S do material tendem a controlar o seu comportamento, sendo que relações C/S acima de 300 tendem a indicar imobilizações de S no material. Alvarez et al. (2008) testaram essa afirmativa em experimentos em povoamentos de *Eucalyptus*, *Pinus* e *Quercus* encontrando resultados diversos e indicando que não é apenas o material que governa a decomposição, e sim a sua interação com o clima.

No presente estudo, os diferentes locais avaliados tiveram comportamento distinto. No primeiro ano de decomposição, as regiões de Mogi-Guaçu e Itamarandiba tiveram liberações mais acentuadas de S, sendo 63 e 55 %, respectivamente. Ao final dos três anos, os menores estoques remanescentes foram encontrados em Vazante (19 %) e Eunápolis (24 %). Em Itamarandiba, a quantidade de S ao final do experimento era superior à quantidade encontrada aos 365 dias.

O S merece atenção especial devido aos elevados aportes do nutriente via chuva e deposição atmosférica, que chegam à ordem de 11 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (Neves, 2000). Segundo Gebauer et al. (1994), cerca de 50 % do S presente em acículas de *Picea abies* era proveniente de deposição atmosférica. Talvez seja essa a explicação de grande parte dos estudos de decomposição negligenciar o comportamento do S, dificultando a comparação.

Em relação aos tratamentos, não foram observados efeitos do N no comportamento do S ( $p > 0,1$ ), ou seja, a adição de N não alterou a relação N/S, que poderia governar a dinâmica do nutriente (Ribeiro et al., 2002). Foram observados efeitos significativos ( $p < 0,05$ ) da presença da casca e da incorporação dos resíduos, sendo a casca com maior influência nos estágios iniciais e a incorporação afetando os estoques finais.

O K foi o nutriente com maior taxa de liberação e menor tempo de meia vida, para todas as regiões. O K é comumente relatado como o nutriente com liberação mais acelerada. Por não fazer parte de nenhum componente estrutural e ser encontrado principalmente em sua forma iônica (K<sup>+</sup>), o K é facilmente dissolvido e lixiviado dos tecidos vegetais, não dependendo dos processos de decomposição. Cerca de 80 % do K



foi liberado após 365 dias de decomposição, com destaque para as regiões de Belo Oriente, Itamarandiba e Mogi-Guaçu, que tinham menos de 10 % do K inicial ao final desse período. Ao final do terceiro ano de decomposição, a quantidade remanescente nos 10 locais avaliados foi semelhante, com menos de 5 % do K inicial ainda presente. Resultados semelhantes para o nutriente foram encontrados por Ribeiro et al. (2002) e Hernández et al. (2009). Costa et al. (2005) observaram liberações inferiores.

A incorporação notadamente afeta a liberação de K. Em Aracruz, o nutriente chega a ser liberado quatro vezes mais nos tratamentos com incorporação. A presença da casca quase dobra os estoques iniciais do nutriente ( $p < 0,05$ ) e ao final do terceiro ano não são identificadas diferenças entre os tratamentos ( $p > 0,05$ ), indicando uma maior liberação na presença da casca. Contudo, quando os estoques são relativizados, não se observa esse efeito sobre as taxas de liberação.

Quadro 4 – Coeficiente de determinação do modelo ( $R^2$ ), tempo de meia vida ( $t_{0,5}$ ), estoque inicial e quantidades remanescentes do nutriente aos 365 e 1095 dias de decomposição.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	N					P					K				
		$R^2$	$t_{0,5}$ <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	$N_{365}$ <sup>(5)</sup>	$N_{1095}$ <sup>(5)</sup>	$R^2$	$t_{0,5}$ <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	$P_{365}$ <sup>(5)</sup>	$P_{1095}$ <sup>(5)</sup>	$R^2$	$t_{0,5}$ <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	$K_{365}$ <sup>(5)</sup>	$K_{1095}$ <sup>(5)</sup>
<b>Eun.</b>	+C,+N,Sup.	0,86	533	116,21 b	69	18	0,85	277	12,67 b	44	7	0,94	148	84,01 b	23	1
	-C,+N,Sup.	0,69	385	82,39 a	61	12	0,75	385	5,79 a	56	8	0,90	107	44,09 a	23	1
	+C,+N,Inc.	0,88	533	116,21 b	65	22	0,82	204	12,67 b	32	8	0,90	98	84,01 b	13	1
	-C,+N,Inc.	0,83	224	82,39 a	25	21	0,73	224	5,79 a	31	15	0,99	65	44,09 a	5	2
	+C,-N,Sup.	0,96	462	116,21 b	58	16	0,85	267	12,67 b	40	8	0,85	128	84,01 b	13	2
	-C,-N,Sup.	0,77	462	82,39 a	62	17	0,80	408	5,79 a	56	11	0,73	169	44,09 a	8	2
	+C,-N,Inc.	0,68	578	116,21 b	55	32	0,80	169	12,67 b	35	12	0,75	105	84,01 b	7	1
	-C,-N,Inc.	0,70	578	82,39 a	79	21	0,73	385	5,79 a	99	11	0,71	116	44,09 a	23	2
<b>Ara.</b>	+C,+N,Sup.	0,69	693	116,21 b	90	24	0,74	433	12,67 b	68	11	0,93	224	84,01 b	35	2
	-C,+N,Sup.	0,74	770	82,39 a	80	35	0,79	533	5,79 a	59	26	0,86	224	44,09 a	38	4
	+C,+N,Inc.	0,81	693	116,21 b	75	29	0,81	193	12,67 b	34	12	0,96	50	84,01 b	10	2
	-C,+N,Inc.	0,55	770	82,39 a	71	41	0,62	365	5,79 a	60	18	0,95	53	44,09 a	14	3
	+C,-N,Sup.	0,67	990	116,21 b	81	46	0,78	433	12,67 b	55	23	0,95	165	84,01 b	23	4
	-C,-N,Sup.	0,76	770	82,39 a	78	35	0,73	578	5,79 a	101	25	0,63	330	44,09 a	44	12
	+C,-N,Inc.	0,70	630	116,21 b	86	20	0,67	301	12,67 b	52	9	0,87	74	84,01 b	25	2
	-C,-N,Inc.	0,60	990	82,39 a	76	43	0,57	385	5,79 a	62	30	0,97	46	44,09 a	5	4
<b>BO</b>	+C,+N,Sup.	0,81	990	116,21 b	68	52	0,80	248	12,67 b	34	20	0,98	76	84,01 b	4	4
	-C,+N,Sup.	0,37	866	82,39 a	51	49	0,76	277	5,79 a	37	25	0,86	82	44,09 a	11	7
	+C,+N,Inc.	0,92	533	116,21 b	60	23	0,79	151	12,67 b	31	11	0,97	50	84,01 b	10	2
	-C,+N,Inc.	0,81	533	82,39 a	56	30	0,79	239	5,79 a	34	19	0,96	53	44,09 a	13	3
	+C,-N,Sup.	0,70	866	116,21 b	60	44	0,74	224	12,67 b	34	20	0,98	69	84,01 b	5	4
	-C,-N,Sup.	0,67	866	82,39 a	51	47	0,61	433	5,79 a	37	35	0,97	80	44,09 a	5	6
	+C,-N,Inc.	0,80	693	116,21 b	80	28	0,69	173	12,67 b	39	14	0,99	55	84,01 b	5	2
	-C,-N,Inc.	0,91	385	82,39 a	44	22	0,79	239	5,79 a	38	15	0,98	57	44,09 a	9	2
<b>Curv.</b>	+C,+N,Sup.	0,68	770	116,21 b	67	40	0,56	248	12,67 b	45	16	0,52	47	84,01 b	46	5
	-C,+N,Sup.	0,65	693	82,39 a	54	40	0,56	315	5,79 a	43	24	0,95	34	44,09 a	48	8
	+C,+N,Inc.	0,80	385	116,21 b	56	13	0,79	120	12,67 b	29	5	0,92	4	84,01 b	14	1
	-C,+N,Inc.	0,65	770	82,39 a	72	35	0,40	408	5,79 a	47	19	0,89	42	44,09 a	37	5
	+C,-N,Sup.	0,90	630	116,21 b	74	26	0,64	144	12,67 b	41	9	0,67	76	84,01 b	36	6

Continua...

Quadro 4 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	N					P					K				
		R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	N <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	N <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	P <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	P <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	K <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	K <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>
<b>Curv.</b>	-C,-N,Sup.	0,73	630	82,39 a	50	39	0,56	277	5,79 a	40	25	0,82	65	44,09 a	18	19
	+C,-N,Inc.	0,70	693	116,21 b	59	40	0,73	133	12,67 b	27	17	0,96	65	84,01 b	15	4
	-C,-N,Inc.	0,90	462	82,39 a	61	18	0,58	385	5,79 a	53	10	0,79	64	44,09 a	20	2
<b>Ita.</b>	+C,+N,Sup.	0,37	1733	116,21 b	62	68	0,80	347	12,67 b	35	29	0,97	112	84,01 b	3	4
	-C,+N,Sup.	0,47	990	82,39 a	57	52	0,64	578	5,79 a	47	35	0,95	136	44,09 a	5	4
	+C,+N,Inc.	0,63	693	116,21 b	72	34	0,85	210	12,67 b	35	17	1,00	62	84,01 b	4	2
	-C,+N,Inc.	0,77	462	82,39 a	54	25	0,93	248	5,79 a	36	13	0,97	69	44,09 a	13	3
	+C,-N,Sup.	0,67	1155	116,21 b	72	51	0,71	315	12,67 b	41	27	0,99	105	84,01 b	4	4
	-C,-N,Sup.	0,38	1155	82,39 a	67	51	0,39	866	5,79 a	56	44	0,98	114	44,09 a	4	7
	+C,-N,Inc.	0,84	693	116,21 b	54	38	0,87	193	12,67 b	33	19	0,99	74	84,01 b	4	2
	-C,-N,Inc.	0,52	990	82,39 a	54	50	0,60	462	5,79 a	43	35	0,99	70	44,09 a	6	4
<b>JP</b>	+C,+N,Sup.	0,76	693	116,21 b	79	28	0,70	330	12,67 b	56	13	0,85	90	84,01 b	17	2
	-C,+N,Sup.	0,52	990	82,39 a	101	39	0,38	770	5,79 a	97	22	0,91	38	44,09 a	16	9
	+C,+N,Inc.	0,87	365	116,21 b	52	14	0,80	151	12,67 b	34	6	0,96	46	84,01 b	5	1
	-C,+N,Inc.	0,52	693	82,39 a	61	38	0,50	433	5,79 a	54	22	0,98	24	44,09 a	39	3
	+C,-N,Sup.	0,81	990	116,21 b	63	46	0,71	217	12,67 b	39	18	0,79	47	84,01 b	27	4
	-C,-N,Sup.	0,68	866	82,39 a	59	44	0,55	693	5,79 a	57	32	0,91	36	44,09 a	10	6
	+C,-N,Inc.	0,87	385	116,21 b	56	17	0,73	142	12,67 b	39	9	0,94	25	84,01 b	14	2
	-C,-N,Inc.	0,80	257	82,39 a	33	17	0,80	178	5,79 a	24	8	0,90	75	44,09 a	7	2
<b>TM</b>	+C,+N,Sup.	0,67	866	116,21 b	86	42	0,68	462	12,67 b	51	21	0,70	161	84,01 b	27	8
	-C,+N,Sup.	0,80	990	82,39 a	83	43	0,60	693	5,79 a	75	28	0,66	108	44,09 a	27	5
	+C,+N,Inc.	0,63	630	116,21 b	71	30	0,75	277	12,67 b	47	12	0,87	31	84,01 b	23	7
	-C,+N,Inc.	0,93	533	82,39 a	67	19	0,85	330	5,79 a	48	12	0,94	30	44,09 a	10	1
	+C,-N,Sup.	0,60	990	116,21 b	80	43	0,64	408	12,67 b	52	19	0,83	53	84,01 b	10	10
	-C,-N,Sup.	0,85	770	82,39 a	79	37	0,68	630	5,79 a	86	22	0,50	365	44,09 a	58	4
	+C,-N,Inc.	0,79	495	116,21 b	65	19	0,74	277	12,67 b	44	8	0,64	60	84,01 b	26	1
	-C,-N,Inc.	0,88	533	82,39 a	67	22	0,74	462	5,79 a	67	13	0,79	98	44,09 a	43	2
<b>Vaz.</b>	+C,+N,Sup.	0,86	495	116,21 b	55	24	0,81	173	12,67 b	33	9	0,90	116	84,01 b	11	4
	-C,+N,Sup.	0,67	770	82,39 a	55	43	0,65	301	5,79 a	40	26	0,91	124	44,09 a	14	10

Continua...

Quadro 4 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	N					P					K				
		R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	N <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	N <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	P <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	P <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>	R <sup>2</sup>	t <sub>0,5</sub> <sup>(3)</sup>	Inicial <sup>(4)</sup>	K <sub>365</sub> <sup>(5)</sup>	K <sub>1095</sub> <sup>(5)</sup>
Vaz.	+C,+N,Inc.	0,86	347	116,21 b	51	4	0,90	122	12,67 b	24	1	0,84	84	84,01 b	19	1
	-C,+N,Inc.	0,76	533	82,39 a	87	8	0,70	301	5,79 a	58	3	0,75	69	44,09 a	28	2
	+C,-N,Sup.	0,57	495	116,21 b	81	12	0,71	169	12,67 b	44	5	0,77	169	84,01 b	38	4
	-C,-N,Sup.	0,52	866	82,39 a	75	40	0,53	578	5,79 a	69	23	0,86	128	44,09 a	11	13
	+C,-N,Inc.	0,84	231	116,21 b	35	17	0,89	86	12,67 b	19	8	0,95	62	84,01 b	10	4
	-C,-N,Inc.	0,81	315	82,39 a	45	9	0,68	193	5,79 a	38	4	0,85	67	44,09 a	20	2
Virg.	+C,+N,Sup.	0,59	1155	116,21 b	61	57	0,70	289	12,67 b	38	27	0,96	77	84,01 b	7	3
	-C,+N,Sup.	0,56	1155	82,39 a	112	53	0,54	693	5,79 a	59	39	0,91	87	44,09 a	8	5
	+C,+N,Inc.	0,78	770	116,21 b	61	39	0,77	122	12,67 b	29	17	0,83	34	84,01 b	27	2
	-C,+N,Inc.	0,33	1386	82,39 a	53	60	0,41	693	5,79 a	46	39	0,77	39	44,09 a	32	5
	+C,-N,Sup.	0,65	866	116,21 b	55	46	0,78	231	12,67 b	39	22	0,97	76	84,01 b	13	3
	-C,-N,Sup.	0,71	866	82,39 a	57	47	0,68	693	5,79 a	61	35	0,95	70	44,09 a	17	6
	+C,-N,Inc.	0,64	578	116,21 b	44	40	0,71	131	12,67 b	30	21	0,97	42	84,01 b	10	3
-C,-N,Inc.	0,44	866	82,39 a	48	46	0,54	217	5,79 a	37	33	0,98	27	44,09 a	10	5	
Mogi	+C,+N,Sup.	0,53	154	116,21 b	54	-	0,69	68	12,67 b	27	-	0,60	40	84,01 b	4	-
	-C,+N,Sup.	0,70	193	82,39 a	65	-	0,56	128	5,79 a	53	-	0,63	39	44,09 a	8	-
	+C,+N,Inc.	0,84	110	116,21 b	43	-	0,67	51	12,67 b	29	-	0,79	23	84,01 b	4	-
	-C,+N,Inc.	0,44	144	82,39 a	64	-	0,27	ns	5,79 a	51	-	0,75	37	44,09 a	18	-
	+C,-N,Sup.	0,85	116	116,21 b	47	-	0,86	70	12,67 b	32	-	0,57	54	84,01 b	4	-
	-C,-N,Sup.	0,62	154	82,39 a	63	-	0,70	96	5,79 a	49	-	0,96	16	44,09 a	3	-
	+C,-N,Inc.	0,76	136	116,21 b	53	-	0,81	61	12,67 b	28	-	0,86	25	84,01 b	2	-
-C,-N,Inc.	0,64	116	82,39 a	48	-	0,55	105	5,79 a	38	-	0,91	21	44,09 a	2	-	

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virginópolis; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; <sup>(3)</sup> Tempo de meia-vida, em dias; Cálculo com base nos ajustes do modelo exponencial simples – ns: indica que os parâmetros do modelos foram não significativos a 5 % de probabilidade pelo teste F; <sup>(4)</sup> Estoque inicial do nutriente (kg/ha) - Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade; <sup>(5)</sup> Quantidade remanescente observada do nutriente após 365 e 1095 dias de decomposição, expressa em % relativa ao estoque inicial (100 %).

Significativas imobilizações de N foram observadas ( $p < 0,05$ ), porém foram contrabalanceadas pela perda de massa (Quadro 8, anexo). Os teores de P tenderam a se manter constante durante todo o experimento, sugerindo um aumento na relação N/P ao longo do tempo (Quadro 9, anexo). Resultado semelhante foi encontrado por Shammas et al. (2003). Cobo et al. (2002) afirmam que a liberação de P se correlaciona com a relação N/P.

Hobbie (2008) afirma que os teores de N do material são bons indicadores da decomposição. Ribeiro et al. (2002), por sua vez, afirmaram que mais N era liberado em materiais com menor teor de N nos estágios iniciais e que o efeito do teor de N passava a ser negligenciado nos estágios posteriores de degradação. No presente estudo, todos os componentes foram analisados em conjunto e as unidades experimentais, nos diferentes tratamentos, foram compostas pelas mesmas quantidades e qualidades de resíduo, impossibilitando correlacionar os teores iniciais do nutriente com a sua taxa de decomposição.

No estudo de Ribeiro et al. (2002), apesar das significativas imobilizações de N ao longo do tempo, os diferentes tecidos de eucalipto não atingiram os valores considerados críticos da relação C/N, o que condicionaria a uma maior taxa de decomposição. Entretanto, Guo & Sims (2002) afirmaram que não foi possível traçar um padrão de liberação com base na relação C/N.

Osono & Takeda (2004), em um experimento com 14 tipos de *litters*, afirmaram que as relações lignina/N e lignina/P foram excelentes preditores da susceptibilidade do material à liberação de N ou P. Segundo os autores, somente quando as relações atingem valores críticos os nutrientes são liberados. Acima dos valores, é comum a ocorrência de longas fases de imobilização. Contudo, Guo & Sims (2002), trabalhando com três espécies de eucalipto, não encontraram resultados que suportem essa afirmação.

Imobilizações de N e P são comuns em tecidos de eucalipto em decomposição. Ribeiro et al. (2002) observaram esse efeito para o N. Costa et al. (2005) notaram para o P. Hernández et al. (2009), quando avaliavam todos os componentes não comerciais juntos, observaram para ambos. Goya et al. (2008) também verificaram imobilização de ambos os nutrientes em plantações de *E. grandis* na Argentina.

A taxa de liberação de P foi maior que a de N, e em grande parte dos casos maior que a perda de massa (Souza, 2012). Eunápolis e Vazante apresentaram as menores quantidades de N e P remanescentes ao final do experimento, enquanto em Virginópolis observou-se a maior quantidade para ambos os nutrientes. A incorporação dos resíduos

acelerou a liberação de ambos os nutrientes, enquanto que a presença da casca acelerou a liberação apenas de P. Apenas para Aracruz e até o terceiro tempo de coleta (180 dias), foi observado que a adição de N externo afetou positivamente os teores de N no tecido vegetal (Quadro 8, anexo).

Em geral, a incorporação também acelerou a decomposição dos resíduos nesses experimentos (Souza, 2012), e conseqüentemente, a liberação dos nutrientes, avaliados no presente estudo. Os tratamentos com incorporação tiveram menor tempo de meia vida ( $t_{0,5}$ ) dos nutrientes do que os tratamentos sem incorporação. O nitrogênio não teve efeito sobre os processos de liberação ou imobilização ( $p < 0,05$ ). Em muitos casos, foram observadas tendências ( $p < 0,1$ ), mas elas não foram encontradas com o desdobramento das interações.

Como os nutrientes se comportaram de forma diferente nas diferentes regiões, testou-se as correlações entre o tempo de meia vida ( $t_{0,5}$ ) e as quantidades remanescentes dos nutrientes aos 365 e 1095 com variáveis de solo e clima. Os resultados indicaram baixas correlações ( $r < 0,5$ ), porém seguiram a tendência esperada, ou seja, se correlacionaram negativamente com a temperatura (máxima e média) e precipitação, principalmente. Com variáveis de solo, não foi possível observar um padrão. Devido às correlações não significativas, estes dados não foram apresentados.

Especificamente para o K, eram esperadas correlações maiores que as observadas para a precipitação, visto sua velocidade de liberação e os relatos na literatura com as taxas de lixiviação.

Os resultados obtidos indicam que a liberação de nutrientes é governada por uma junção de diversos fatores, sendo que isolados, eles se tornam inexpressivos. Principalmente no caso do presente estudo, onde além das diferentes regiões, diversos tratamentos com influência significativa foram testados. Houve diferenças entre as regiões, mas mesmo com as amplitudes trabalhadas, em certos locais, o comportamento observado foi o mesmo, o que mostra a grande importância da qualidade do material e da comunidade decompositora. Powers et al. (2009) em um amplo estudo de decomposição em florestas tropicais também encontraram baixas correlações com variáveis climáticas e destacaram o efeito da fauna nesses processos.

Os resultados indicam que é possível alterar a ciclagem de nutrientes dos resíduos da colheita do eucalipto. Dependendo da colheita do ciclo anterior e da partição de nutrientes pela espécie (Santana et al., 2008), os resíduos da colheita do eucalipto representam um expressivo estoque de nutrientes que se mantidos na área tendem a se tornar disponíveis para as plantas do próximo ciclo. Entretanto, significativas fases de

imobilização e liberação tendem a ocorrer, variando de nutriente para nutriente. Então, o uso de combinações de formas de manejo tende a equilibrar esses processos, compatibilizando a liberação com as demandas da cultura do eucalipto.

#### 4. CONCLUSÕES

Os nutrientes se comportam de formas distintas nas regiões avaliadas, porém não foi encontrado algum efeito isolado significativo, de clima ou solo, sobre esse comportamento.

A incorporação dos resíduos e a manutenção da casca aceleram a liberação dos nutrientes, principalmente nos estágios iniciais de decomposição.

Não foi observado efeito da presença de N externo sobre a liberação de nutrientes.

#### 5. REFERÊNCIAS

ALVAREZ, E.; MARCOS, M.L.F.; TORRADO, V.; SANJURJO, M.J.F. Dynamics of macronutrients during the first stages of litter decomposition from forest species in a temperate area (Galicia, NW Spain). *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 80:243-256, 2008.

BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V., V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M., eds. *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2. p.487-592.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. *Métodos de análise química de plantas*. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 48p. (Boletim Técnico).

BELLOTE, A.F.J.; SILVA, H.D. da; GAVA, J.L.; MENEGOL, O. Nutrient export by clear cutting *E. grandis* of different ages on two sites in Brazil. In: KOBAYASHI, S.; TURNBULL, J.W.; TOMA, T.; MORI, T.; MAJID, N.M.N.A. (Eds). *Rehabilitation of degraded tropical forest ecosystems*. Bogor, Indonésia - Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 2001. p.173-177.

BELLOTE, A.F.J, DEDECEK, R.A.; SILVA, H.D. Nutrientes minerais, biomassa, e deposição de serapilheira em plantio de *Eucalyptus* com diferentes sistemas de manejo de resíduos florestais. *Pesq. Flor. Bras.*, 56:31-41, 2008.

BLAIR, J.M. Nitrogen, sulphur and phosphorus dynamics in decomposing deciduous leaf litter in the southern Appalachians. *Soil Biol. Biochem.* 20:697-701, 1988.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extrato de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.

- COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L.; THOMAS, R.J. Decomposition and nutrient release from green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant Soil*, 240:331-342, 2002.
- COSTA, G.S.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; CUNHA, G.M. Decomposição e liberação de nutrientes da serapilheira foliar em povoamentos de *Eucalyptus grandis* no norte fluminense. *R. Árvore*, 29:563-570, 2005.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: sistema de análise de variância para dados balanceados. Versão 4.0. Lavras: DEX/UFLA, 1999. Software.
- FIXEN, P.E.; JOHNSTON, A.M. World fertilizer nutrient reserves: a view to the future. *J. Sci. Food Agric.*, 92:1001-1005, 2012.
- GATTO, A.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; SILVA, I.R.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; VILLANI, E.M.A. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1069-1079, 2010.
- GEBAUER, G.; GIESEMANN, A.; SCHULZE, E.D.; JÄGER, H.J. Isotope ratios and concentrations of sulfur and nitrogen in needles and soils of *Picea abies* stands as influenced by atmospheric deposition of sulfur and nitrogen compounds. *Plant Soil*, 164:267-281, 1994.
- GOYA, J.F.; FRANGI, J.L.; PÉREZ, C.; DALLA TEA, F. Decomposition and nutrient release from leaf litter in *Eucalyptus grandis* plantations on three different soils in Entre Ríos, Argentina. *BOSQUE*, 29:217-226, 2008.
- GUO, L.B.; SIMS, R.E.H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand: I. External Effects. *Soil Biol. Biochem.*, 33:1381-1388, 2001.
- GUO, L.B.; SIMS, R.E.H. Eucalypt litter decomposition and nutrient release under a short rotation forest regime and effluent irrigation treatments in New Zealand: II. Internal Effects. *Soil Bio. Biochem.*, 34:913-922, 2002.
- HERNÁNDEZ, J.; DEL PINO, A.; SALVO, L.; ARRARTE, G. Nutrient export and harvest residue decomposition patterns of *Eucalyptus dunnii* Maiden plantation in temperate climate of Uruguay. *For. Ecol. Manag.*, 258: 92-99, 2009.
- HOBBIE, S.E. Nitrogen effects on decomposition: a five-year experiment in eight temperate sites. *Ecology*, 89:2633-2644, 2008.
- KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, 34:139-162, 2002.
- KRAUS, T.E.C.; DAHLGREN, R.A.; ZASOSKI, R.J. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems – a review. *Plant Soil*, 256:41-66, 2003.
- LACLAU, J.P.; RANGER, J.; GONÇALVES, J.L.M.; MAQUÈRE, V.; KRUSCHE, A.V.; M'BOU, A.T.; NOUVELLON, Y.; SAINT-ANDRÉ, L.; BOUILLET, J.P.; PICCOLO, M.C.; DELEPORTE, P. Biogeochemical cycles of nutrients in tropical *Eucalyptus* plantations. Main features shown by intensive monitoring in Congo and Brazil. *For. Ecol. Manag.* 259:1771-1785, 2010a.
- LACLAU, J.P.; LEVILLAIN, J.; DELEPORTE, P.; NZILA, J.D.; BOUILLET, J.P.; SAINT-ANDRÉ, L.; VERSINI, A.; MARESCHAL, L.; NOUVELLON, Y.; M'BOU, A.T.; RANGER, J. Organic residue mass at planting is an excellent predictor of tree growth in *Eucalyptus* plantations established on a sandy tropical soil. *For. Ecol. Manag.*, 260:2148-2159, 2010b.



- LAL, R. Soil carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123:1-22, 2004.
- LEITE, F.P.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Alterations os soil chemical properties by *Eucalyptus* cultivation in five regions in the rio doce valley. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:821-831, 2010.
- LUGATO, E.; BERTI, A.; GIARDINI, L. Soil organic carbon (SOC) dynamics with and without residue incorporation in relation to different nitrogen fertilisation rates. *Geoderma*, 135:315-321, 2006.
- MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. Biochem.*, 32:361-369, 2000.
- NEVES, J.C.L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, Universidade Estadual Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado).
- NZILA, J.D.; BOUILLET, J.P.; LACLAU, J.P.; RANGER, J. The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in *Eucalyptus* plantations in the Congo. *For. Ecol. Manag.*, 171:209-221, 2002.
- O'CONNELL, A.M. Nutrient dynamics in decomposing litter in karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell.) forests of South-western Australia. *Journal of Ecology*, 76:1186-1203, 1988.
- OLSON, J.S. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology*, 44:322-331, 1963.
- OSONO, T.; TAKEDA, H. Accumulation and release of nitrogen and phosphorus in relation to lignin decomposition in leaf litter of 14 trees species. *Ecol. Res.*, 19:593-602, 2004.
- POWERS, J.S.; MONTGOMERY, R.A.; ADAIR, E.C.; BREARLEY, F.Q.; DE WALT, S.J.; CASTANHO, C.T.; CHAVE, J.; DEINERT, E. GANZHORN, J.U.; GILBERT, M.E.; GONZÁLEZ-ITURBE, J.A.; BUNYAVEJCHEWIN, S.; GRAU, H.R.; HARMS, K.E.; HIREMATH, A.; IRIARTE-VIVAR, S.; MANZANE, E.; OLIVEIRA, A.A.; POORTER, L.; RAMANAMANJATO, J.B.; SALK, C.; VARELA, A.; WEIBLEN, G.B.; LERDAU, M. Decomposition in tropical forests: a pan-tropical study of the effects of litter type, litter placement and mesofaunal exclusion across a precipitation gradient. *J. Ecology*, 97:801-811, 2009.
- PULROLNIK, K.; BARROS, N.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BRANDANI, C.B. Estoques de carbono e nitrogênio em frações lábeis e estáveis da matéria orgânica de solos sob eucalipto, pastagem e cerrado no Vale do Jequitinhonha-MG. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:1125-1136, 2009.
- RIBEIRO, C.; MADEIRA, M.; ARAÚJO, M.C. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *For. Ecol. Manag.*, 171:31-41, 2002.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Biomassa e conteúdo de nutrientes de procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sítios florestais do Estado de São Paulo. *Sci. Flor.*, 56:155-169, 1999.
- SANTANA, R.C.; BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; LEITE, H.G.; COMERFORD, N.B. Alocação de nutrientes em plantios de eucalipto no Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2723-2733, 2008.
- SCOTT, A. J.; KNOTT, M. A cluster analysis method for grouping means in the analysis of variance. *Biometrics*, 30:507-512, 1974.

SHAMMAS, K.; O'CONNELL, A.M.; GROVE, T.S.; MCMURTRIE, R.; DAMON, P.; RANCE, S.J. Contribution of decomposing harvest residues to nutrient cycling in a second rotation *Eucalyptus globulus* plantation in south-western Australia. *Biol. Fertil. Soils*, 38:228-235, 2003.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241:155-176, 2002.

SILVA, A.R.; DIAS JUNIOR, M.S.; LEITE, F.P. Camada de resíduos florestais e pressão de preconsolidação de dois latossolos. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:89-93, 2007.

SOUZA, I.F. Decomposição de resíduos da colheita e transferência de carbono para o solo em plantações de eucalipto. Universidade Federal de Viçosa, 2012, 72p. (Dissertação de Mestrado)

VIVANCO, L.; AUSTIN, A.T. Nitrogen addition stimulates forest litter decomposition and disrupts species interactions in Patagonia, Argentina. *Global Change Biol.*, 17:1963-1974, 2011.

ZAIA, F.C.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Ciclagem e balanço de nutrientes em povoamentos de eucalipto na região norte fluminense. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:843-852, 2004.

## 6. ANEXOS

Quadro 5 – Médias por tratamento, nos tempos de coleta e locais avaliados, dos teores (g/kg) e estoques (kg/ha) de cálcio.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	Ca (g/kg)					Ca (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
Eun.	+C,+N,Sup.	9,25 b	12,25 b	11,25 b	16,01 b	29,42 b	292,99 b	305,95 b	233,07 b	308,35 b	71,67 a
	-C,+N,Sup.	2,19 a	3,53 a	3,31 a	8,58 a	21,64 a	47,48 a	64,27 a	53,61 a	117,54 a	26,55 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	11,42 b	13,73 b	20,47 b	19,43 a	292,99 b	236,75 b	196,39 b	265,94 b	60,39 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	5,07 a	4,06 a	6,45 a	21,57 a	47,48 a	71,75 a	43,42 a	45,89 a	46,17 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	12,29 b	12,63 b	17,64 b	44,50 c	292,99 b	306,61 b	265,11 b	336,86 b	119,79 a
	-C,-N,Sup.	2,19 a	3,18 a	3,34 a	5,24 a	13,49 a	47,48 a	56,92 a	54,00 a	80,87 a	30,91 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	12,20 b	10,21 b	20,46 b	24,27 b	292,99 b	246,00 b	123,56 a	277,11 b	82,13 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	4,58 a	5,89 a	8,85 a	17,84 a	47,48 a	70,29 a	46,11 a	101,69 a	30,96 a
Ara.	+C,+N,Sup.	9,25 b	11,86 b	8,27 b	14,38 b	52,95 d	292,99 b	307,77 b	214,02 b	310,51 b	135,53 b
	-C,+N,Sup.	2,19 a	5,99 a	4,91 a	4,77 a	23,09 b	47,48 a	116,92 a	79,87 a	72,04 a	73,10 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	11,67 b	11,79 b	25,20 c	19,86 a	292,99 b	287,50 b	245,47 b	353,08 b	80,28 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	2,77 a	2,91 a	4,85 a	26,49 b	47,48 a	50,40 a	44,50 a	58,94 a	96,10 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	9,47 b	10,00 b	15,04 b	33,49 c	292,99 b	262,33 b	233,26 b	321,23 b	194,40b
	-C,-N,Sup.	2,19 a	3,78 a	2,43 a	5,52 a	14,08 a	47,48 a	70,38 a	41,25 a	78,35 a	56,59 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	11,59 b	8,43 b	16,03 b	18,80 a	292,99 b	294,24 b	195,64 b	292,25 b	66,13 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	2,68 a	3,55 a	2,97 a	14,43 a	47,48 a	45,37 a	52,38 a	42,66 a	59,11 a
BO	+C,+N,Sup.	9,25 b	10,91 b	10,99 b	12,47 b	18,17 c	292,99 b	301,80 b	262,63 b	289,76 c	171,40 b
	-C,+N,Sup.	2,19 a	4,24 a	2,65 a	2,54 a	6,08 a	47,48 a	81,50 a	46,03 a	41,31 a	30,94 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	9,43 b	9,84 b	10,48 b	11,78 b	292,99 b	255,26 b	219,04 b	203,35 b	54,23 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	3,07 a	2,15 a	1,53 a	12,62 b	47,48 a	60,31 a	35,08 a	24,04 a	51,10 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	9,88 b	9,15 b	9,95 b	22,43 d	292,99 b	279,55 b	228,35 b	232,63 b	179,00 b
	-C,-N,Sup.	2,19 a	4,05 a	2,33 a	2,91 a	5,02 a	47,48 a	82,55 a	41,62 a	49,73 a	40,10 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	9,05 b	8,26 b	9,04 b	11,06 b	292,99 b	257,05 b	194,38 b	205,89 b	72,20 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	3,22 a	1,87 a	2,55 a	3,51 a	47,48 a	62,79 a	30,96 a	37,76 a	10,74 a
Curv.	+C,+N,Sup.	9,25 b	10,91 b	10,99 b	12,47 b	18,17 c	292,99 b	301,80 b	262,63 b	289,76 c	171,40 b
	-C,+N,Sup.	2,19 a	4,24 a	2,65 a	2,54 a	6,08 a	47,48 a	81,50 a	46,03 a	41,31 a	30,94 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	9,43 b	9,84 b	10,48 b	11,78 b	292,99 b	255,26 b	219,04 b	203,35 b	54,23 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	3,07 a	2,15 a	1,53 a	12,62 b	47,48 a	60,31 a	35,08 a	24,04 a	51,10 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	9,88 b	9,15 b	9,95 b	22,43 d	292,99 b	279,55 b	228,35 b	232,63 b	179,00 b
	-C,-N,Sup.	2,19 a	4,05 a	2,33 a	2,91 a	5,02 a	47,48 a	82,55 a	41,62 a	49,73 a	40,10 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	9,05 b	8,26 b	9,04 b	11,06 b	292,99 b	257,05 b	194,38 b	205,89 b	72,20 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	3,22 a	1,87 a	2,55 a	3,51 a	47,48 a	62,79 a	30,96 a	37,76 a	10,74 a
Ita.	+C,+N,Sup.	9,25 b	-	7,21	11,67 c	14,40 d	292,99 b	-	184,44 b	194,31 d	163,41 b
	-C,+N,Sup.	2,19 a	-	3,49 a	1,66 a	4,88 a	47,48 a	-	66,60 a	21,26 a	37,14 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	-	8,66 b	7,40 b	8,92 c	292,99 b	-	185,89 b	94,36 b	58,23 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	-	2,80 a	1,78 a	4,55 a	47,48 a	-	46,15 a	21,45 a	18,40 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	-	8,24 b	12,04 c	14,38 d	292,99 b	-	212,74 b	196,90 d	143,71 b
	-C,-N,Sup.	2,19 a	-	1,97 a	2,75 a	3,63 a	47,48 a	-	35,93 a	34,80 a	32,59 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	-	9,74 b	8,86 b	6,26 b	292,99 b	-	247,59 c	116,83 c	51,13 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	-	1,89 a	2,65 a	2,47 a	47,48 a	-	30,89 a	27,23 a	23,72 a
JP	+C,+N,Sup.	9,25 b	10,33 b	11,32 b	14,88 b	12,50 b	292,99 b	286,78 c	216,27 b	266,12 c	81,74 b
	-C,+N,Sup.	2,19 a	2,33 a	2,37 a	4,64 a	4,74 a	47,48 a	43,61 a	37,28 a	69,37 a	18,62 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	11,64 b	12,65 b	13,66 b	7,52 a	292,99 b	251,94 c	200,88 b	166,18 b	20,38 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	2,37 a	1,98 a	4,21 a	4,96 a	47,48 a	37,54 a	21,02 a	41,70 a	20,77 a

Continua...

Quadro 5 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	Ca (g/kg)					Ca (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
JP	+C,-N,Sup.	9,25 b	10,66 b	10,45 b	13,65 b	19,65 d	292,99 b	282,60 c	207,71 b	253,18 c	133,51 c
	-C,-N,Sup.	2,19 a	2,11 a	3,38 a	3,13 a	5,64 a	47,48 a	38,96 a	56,83 a	46,56 a	30,88 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	9,71 b	11,60 b	12,11 b	16,38 c	292,99 b	211,69 b	174,22 b	210,21 b	35,71 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	2,92 a	2,94 a	1,71 a	3,91 a	47,48 a	38,13 a	24,95 a	12,97 a	8,72 a
TM	+C,+N,Sup.	9,25 b	11,96 b	13,04 b	12,74 b	25,17 d	292,99 b	277,35 b	233,80 c	223,66 c	168,27 b
	-C,+N,Sup.	2,19 a	2,77 a	3,32 a	3,23 a	3,94 a	47,48 a	47,52 a	50,13 a	45,32 a	22,31 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	13,19 b	10,50 b	11,26 b	9,22 b	292,99 b	258,19 b	171,30 b	175,11 b	48,40 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	6,17 a	5,40 a	4,71 a	6,13 a	47,48 a	91,04 a	65,06 a	46,50 a	18,25 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	12,27 b	11,14 b	12,20 b	20,13 c	292,99 b	276,11 b	240,31 c	231,48 c	144,04 b
	-C,-N,Sup.	2,19 a	3,44 a	4,42 a	2,73 a	10,94 b	47,48 a	56,39 a	59,57 a	42,86 a	33,20 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	13,40 b	12,09 b	11,89 b	11,57 b	292,99 b	281,40 b	177,25 b	178,88 b	48,03 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	4,11 a	4,48 a	3,92 a	7,78 a	47,48 a	62,90 a	52,19 a	48,62 a	22,82 a
Vaz.	+C,+N,Sup.	9,25 b	10,05 b	7,35 b	15,14 c	17,31 c	292,99 b	251,53 c	182,25 b	144,93 b	63,33 a
	-C,+N,Sup.	2,19 a	2,73 a	1,67 a	2,02 a	5,94 a	47,48 a	47,74 a	31,33 a	16,16 a	26,17 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	10,54 b	6,58 b	6,56 a	10,694 b	292,99 b	248,48 c	158,14 b	68,43 a	5,68 a
	-C,+N,Inc.	2,19 a	2,79 a	1,39 a	4,16 a	4,00 a	47,48 a	49,11 a	24,44 a	37,54 a	2,13 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	10,62 b	6,90 b	9,92 b	23,32 d	292,99 b	265,22 c	162,82 b	162,93 b	33,56 a
	-C,-N,Sup.	2,19 a	3,66 a	1,57 a	2,48 a	10,66 b	47,48 a	65,53 a	29,11 a	33,13 a	30,30 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	9,90 b	5,62 b	6,62 a	14,60 c	292,99 b	205,69 b	130,28 b	51,76 a	32,34 a
	-C,-N,Inc.	2,19 a	3,68 a	1,72 a	0,92 a	11,94 b	47,48 a	57,32 a	30,02 a	6,31 a	7,91 a
Virg.	+C,+N,Sup.	9,25 b	10,02 b	10,64 b	12,8 b	21,46 d	292,99 b	278,04 c	257,52 c	296,35 d	194,36 d
	-C,+N,Sup.	2,19 a	3,36 a	3,20 a	3,44 a	2,53 a	47,48 a	67,12 a	55,32 a	59,37 a	18,75 a
	+C,+N,Inc.	9,25 b	10,13 b	8,42 b	8,89 b	8,47 b	292,99 b	248,76 b	182,31 b	212,70 c	67,84 b
	-C,+N,Inc.	2,19 a	5,36 a	2,63 a	3,34 a	1,05 a	47,48 a	93,32 a	42,31 a	49,93 a	11,08 a
	+C,-N,Sup.	9,25 b	8,45 b	9,47 b	10,74 b	16,73 c	292,99 b	237,56 b	233,93 c	259,01 d	130,00 c
	-C,-N,Sup.	2,19 a	3,08 a	2,14 a	3,19 a	2,45 a	47,48 a	60,14 a	38,26 a	52,75 a	21,42 a
	+C,-N,Inc.	9,25 b	11,49 b	8,10 b	7,81 b	10,07 b	292,99 b	300,21 c	189,00 b	159,32 b	74,82 b
	-C,-N,Inc.	2,19 a	3,03 a	1,89 a	1,80 a	1,28 a	47,48 a	57,13 a	31,65 a	29,46 a	12,50 a
Mogi	+C,+N,Sup.	9,25 b	10,75 b	10,99 c	13,55 c	-	292,99 b	245,81 c	199,03 d	96,42 b	-
	-C,+N,Sup.	2,19 a	3,95 a	4,23 a	4,56 a	-	47,48 a	64,21 a	64,23 a	31,43 a	-
	+C,+N,Inc.	9,25 b	10,76 b	8,99 c	7,91 b	-	292,99 b	184,74 b	155,85 c	69,58 b	-
	-C,+N,Inc.	2,19 a	3,52 a	4,02 a	1,70 a	-	47,48 a	52,15 a	45,11 a	13,64 a	-
	+C,-N,Sup.	9,25 b	12,26 b	11,32 c	10,17 b	-	292,99 b	273,58 d	193,57 d	80,86 b	-
	-C,-N,Sup.	2,19 a	3,27 a	3,25 a	3,32 a	-	47,48 a	54,13 a	51,56 a	22,56 a	-
	+C,-N,Inc.	9,25 b	11,33 b	6,92 b	4,17 a	-	292,99 b	228,33 c	95,44 b	37,17 a	-
	-C,-N,Inc.	2,19 a	3,66 a	3,03 a	3,13 a	-	47,48 a	57,80 a	37,01 a	19,38 a	-

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virginópolis; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Quadro 6 – Médias por tratamento, nos tempos de coleta e locais avaliados, dos teores (g/kg) e estoques (kg/ha) de magnésio.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	Mg (g/kg)					Mg (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
Eun.	+C,+N,Sup.	1,47 b	1,20 b	1,13 c	1,01 b	1,04 a	46,45 b	30,11 c	23,96 d	20,28 d	2,51 a
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,46 a	0,52 a	0,74 a	1,14 a	11,76 a	8,42 a	8,54 b	10,28 b	1,34 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	1,24 b	1,19 c	1,13 b	1,24 b	46,45 b	25,63 b	16,84 c	14,82 c	4,12 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,44 a	0,48 a	0,62 a	0,96 a	11,76 a	6,49 a	5,13 a	4,30 a	4,93 a
	+C,-N,Sup.	1,47 b	1,17 b	1,32 c	1,16 b	1,87 c	46,45 b	29,11 c	27,50 d	22,79 d	4,93 a
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,52 a	0,58 a	0,59 a	0,95 a	11,76 a	9,29 a	9,28 b	9,10 b	2,15 a
	+C,-N,Inc.	1,47 b	1,10 b	0,91 b	0,99 b	1,34 b	46,45 b	22,26 b	11,41 b	13,47 c	5,17 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,58 a	0,84 b	0,84 a	1,35 b	11,76 a	8,69 a	6,10 a	9,54 b	2,51 a
Ara.	+C,+N,Sup.	1,47 b	1,38 b	1,34 b	1,37 b	2,90 b	46,45 b	35,89 e	34,40 c	30,29 c	8,15 a
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,68 a	0,77 a	0,74 a	1,69 a	11,76 a	13,40 b	12,63 a	11,12 a	5,36 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	0,81 a	1,09 b	1,64 b	1,29 a	46,45 b	19,80 c	22,81 b	22,82 b	5,51 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,35 a	0,43 a	0,69 a	1,48 a	11,76 a	6,28 a	6,73 a	8,46 a	5,83 a
	+C,-N,Sup.	1,47 b	1,31 b	1,43 b	1,49 b	3,17 b	46,45 b	36,34 e	32,98 c	32,18 c	18,54 b
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,60 a	0,60 a	0,93 a	1,12 a	11,76 a	10,94 a	10,18 a	13,12 a	5,02 a
	+C,-N,Inc.	1,47 b	1,03 b	1,08 b	1,57 b	1,34 a	46,45 b	25,94 d	24,70 b	29,03 c	5,06 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,38 a	0,72 a	0,55 a	1,39 a	11,76 a	6,45 a	10,01 a	7,83 a	5,46 a
BO	+C,+N,Sup.	1,47 b	1,02 c	1,00 c	0,75 c	0,66 b	46,45 b	28,04 c	23,86 c	17,66 c	6,56 b
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,47 a	0,33 a	0,24 a	0,50 a	11,76 a	9,13 a	5,65 a	3,94 a	2,70 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	0,76 b	0,75 b	0,74 c	0,62 b	46,45 b	20,67 b	16,61 b	14,42 c	2,96 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,33 a	0,22 a	0,22 a	0,32 a	11,76 a	6,38 a	3,58 a	3,44 a	1,31 a
	+C,-N,Sup.	1,47 b	1,03 c	0,85 b	0,81 c	0,74 b	46,45 b	29,15 c	21,34 c	18,73 c	5,97 b
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,43 a	0,38 a	0,45 b	0,41 a	11,76 a	8,71 a	6,76 a	7,63 b	3,36 a
	+C,-N,Inc.	1,47 b	0,82 b	0,81 b	0,70 c	0,46 a	46,45 b	23,24 b	19,27 b	15,96 c	2,87 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,32 a	0,30 a	0,28 a	0,35 a	11,76 a	6,20 a	4,89 a	4,21 a	1,18 a
Curv.	+C,+N,Sup.	1,47 b	0,79 a	0,81 a	1,29 b	1,44 a	46,45 b	20,84 b	21,19 b	20,09 c	7,80 b
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,36 a	0,34 a	0,60 a	2,12 b	11,76 a	6,49 a	6,15 a	8,07 a	9,58 b
	+C,+N,Inc.	1,47 b	0,69 a	0,78 a	1,52 b	1,34 a	46,45 b	16,48 b	17,95 b	16,36 c	2,77 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,30 a	0,55 a	1,31 b	1,96 b	11,76 a	5,11 a	8,89 a	13,93 b	6,68 b
	+C,-N,Sup.	1,47 b	0,84 a	0,81 a	1,30 b	2,27 b	46,45 b	22,48 b	21,32 b	20,87 c	8,34 b
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,42 a	0,37 a	0,72 a	2,01 b	11,76 a	7,69 a	6,51 a	9,05 a	9,81 b
	+C,-N,Inc.	1,47 b	0,85 a	0,85 a	2,01 b	2,14 b	46,45 b	21,69 b	21,46 b	20,09 c	12,50 b
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,44 a	0,63 a	1,34 b	2,11 b	11,76 a	7,92 a	11,14 a	14,17 b	3,94 a
Ita.	+C,+N,Sup.	1,47 b	-	0,88 c	0,91 c	0,96 b	46,45 b	-	22,63 e	14,70 c	11,04 b
	-C,+N,Sup.	0,54 a	-	0,40 b	0,28 a	0,40 a	11,76 a	-	7,52 b	3,63 a	2,92 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	-	0,53 b	0,50 b	0,79 b	46,45 b	-	11,48 c	6,34 b	5,27 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	-	0,21 a	0,25 a	0,54 a	11,76 a	-	3,48 a	3,04 a	2,05 a
	+C,-N,Sup.	1,47 b	-	0,87 c	1,15 d	0,95 b	46,45 b	-	22,60 e	18,81 d	9,63 b
	-C,-N,Sup.	0,54 a	-	0,36 b	0,55 b	0,40 a	11,76 a	-	6,65 b	6,79 b	3,71 a
	+C,-N,Inc.	1,47 b	-	0,68 c	0,50 b	0,50 a	46,45 b	-	17,36 d	6,41 b	4,11 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	-	0,25 a	0,31 a	0,29 a	11,76 a	-	4,09 a	3,02 a	2,67 a
JP	+C,+N,Sup.	1,47 b	1,19 b	0,90 b	1,29 c	0,60 a	46,45 b	33,21 e	16,98 c	22,95 e	3,85 a
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,38 a	0,36 a	0,73 b	1,10 b	11,76 a	7,04 a	5,77 a	10,78 c	4,15 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	1,02 b	0,66 a	0,82 b	0,79 a	46,45 b	22,10 c	10,16 b	9,88 c	1,79 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,39 a	0,39 a	0,79 b	1,09 b	11,76 a	6,00 a	4,07 a	7,48 b	4,21 a

Continua...

Quadro 6 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	Mg (g/kg)					Mg (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
JP	+C,-N,Sup.	1,47 b	1,07 b	0,97 b	1,09 c	1,24 b	46,45 b	28,26 d	18,73 c	18,80 d	8,39 b
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,43 a	0,50 a	0,42 a	0,94 b	11,76 a	7,92 a	8,43 b	6,25 b	5,15 a
	+C,-N,Inc.	1,47 b	0,78 b	0,76 b	0,67 b	1,06 b	46,45 b	17,04 b	11,98 b	11,64 c	2,78 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,50 a	0,59 a	0,31 a	0,61 a	11,76 a	6,57 a	5,15 a	2,28 a	1,39 a
TM	+C,+N,Sup.	1,47 b	1,04 a	1,25 b	1,13 a	2,15 b	46,45 b	24,19 c	22,36 c	19,70 b	14,64 b
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,50 b	0,51 a	0,67 a	0,83 a	11,76 a	8,56 a	7,81 a	9,01 a	4,35 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	0,87 a	0,86 b	0,62 a	1,61 b	46,45 b	16,98 b	14,08 b	9,37 a	7,07 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,45 a	0,57 a	0,57 a	0,85 a	11,76 a	6,57 a	6,79 a	5,46 a	2,60 a
	+C,-N,Sup.	1,47 b	1,20 a	1,01 b	1,09 a	1,26 a	46,45 b	27,02 c	21,87 c	20,77 b	9,92 b
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,66 a	0,67 a	0,67 a	1,76 b	11,76 a	10,55 a	8,99 a	10,35 a	5,56 a
	+C,-N,Inc.	1,47 b	0,80 a	1,12 b	1,06 a	0,71 a	46,45 b	16,82 b	16,45 b	15,94 b	3,32 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,60 a	0,57 a	0,70 a	0,79 a	11,76 a	9,28 a	6,76 a	8,70 a	2,34 a
Vaz.	+C,+N,Sup.	1,47 b	0,93 b	0,80 a	0,92 b	0,83 a	46,45 b	23,08 d	19,95 c	9,92 b	2,73 a
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,38 a	0,35 a	0,41 a	1,13 a	11,76 a	6,58 a	6,40 a	3,82 a	4,34 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	0,73 b	0,58 a	0,75 b	1,04 a	46,45 b	17,04 c	13,80 b	7,16 a	0,54 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,35 a	0,22 a	1,34 b	0,65 a	11,76 a	6,20 a	3,85 a	11,88 b	0,35 a
	+C,-N,Sup.	1,47 b	0,95 b	0,72 a	1,07 b	2,55 b	46,45 b	23,90 d	16,99 c	17,26 c	3,83 a
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,39 a	0,30 a	0,47 a	3,32 c	11,76 a	6,93 a	5,57 a	6,48 a	9,49 b
	+C,-N,Inc.	1,47 b	0,64 b	0,57 a	0,85 b	1,07 a	46,45 b	13,28 b	13,06 b	5,91 a	2,44 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,40 a	0,29 a	0,44 a	1,13 a	11,76 a	6,42 a	5,06 a	2,99 a	1,20 a
Virg.	+C,+N,Sup.	1,47 b	0,98 b	0,98 c	0,87 b	0,77 c	46,45 b	27,20 c	23,66 c	20,70 c	7,10 b
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,48 a	0,38 a	0,32 a	0,34 a	11,76 a	9,62 a	6,46 a	5,52 a	2,42 a
	+C,+N,Inc.	1,47 b	0,87 b	0,72 b	0,74 b	0,45 b	46,45 b	21,35 b	15,74 b	15,95 b	3,52 a
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,35 a	0,34 a	0,39 a	0,22 a	11,76 a	6,12 a	5,59 a	5,94 a	2,33 a
	+C,-N,Sup.	1,47 b	1,07 b	0,99 c	0,79 b	0,94 c	46,45 b	29,95 c	24,43 c	19,14 c	7,51 b
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,44 a	0,44 a	0,44 a	0,29 a	11,76 a	8,56 a	7,87 a	7,26 a	2,56 a
	+C,-N,Inc.	1,47 b	0,92 b	0,69 b	0,67 b	0,51 b	46,45 b	24,01 b	15,94 b	13,79 b	4,19 a
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,39 a	0,27 a	0,23 a	0,20 a	11,76 a	7,32 a	4,51 a	3,68 a	1,98 a
Mogi	+C,+N,Sup.	1,47 b	0,99 b	1,28 b	1,66 c	-	46,45 b	22,53 c	22,66 c	11,91 b	-
	-C,+N,Sup.	0,54 a	0,49 a	0,56 a	1,01 b	-	11,76 a	8,03 a	8,13 a	7,24 a	-
	+C,+N,Inc.	1,47 b	0,89 b	0,76 a	0,77 a	-	46,45 b	14,96 b	12,98 b	6,64 a	-
	-C,+N,Inc.	0,54 a	0,51 a	0,73 a	0,62 a	-	11,76 a	7,58 a	7,98 a	4,98 a	-
	+C,-N,Sup.	1,47 b	1,13 b	1,30 b	1,17 ab	-	46,45 b	25,27 c	22,16 c	9,23 b	-
	-C,-N,Sup.	0,54 a	0,46 a	0,41 a	0,89 a	-	11,76 a	7,64 a	6,42 a	6,16 a	-
	+C,-N,Inc.	1,47 b	0,90 b	0,97 b	0,84 a	-	46,45 b	18,08 b	13,21 b	7,45 a	-
	-C,-N,Inc.	0,54 a	0,53 a	0,72 a	0,61 a	-	11,76 a	8,38 a	8,62 a	3,17 a	-

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virginópolis; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Quadro 7 – Médias por tratamento, nos tempos de coleta e locais avaliados, dos teores (g/kg) e estoques (kg/ha) de enxofre.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	S (g/kg)					S (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
Eun.	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,56 a	0,67 a	0,51 a	0,96 a	13,82 b	13,96 b	13,83 c	9,90 c	2,35 a
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,45 a	0,46 a	0,48 a	1,02 a	9,65 a	8,11 a	7,57 a	6,75 b	1,18 a
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,66 a	0,98 b	0,85 b	1,32 b	13,82 b	13,61 b	13,46 c	11,04 c	4,26 b
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,51 a	0,57 a	0,60 a	1,16 a	9,65 a	7,52 a	6,05 a	3,71 a	2,33 a
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,51 a	0,82 b	0,43 a	1,10 a	13,82 b	12,63 b	16,96 d	8,29 c	2,79 a
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,49 a	0,52 a	0,54 a	0,93 a	9,65 a	8,72 a	8,25 a	8,19 c	2,13 a
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,70 a	0,91 b	0,88 b	1,53 b	13,82 b	13,70 b	11,03 b	11,01 c	6,23 b
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,62 a	0,71 a	0,80 b	0,87 a	9,65 a	9,45 a	6,28 a	9,02 c	1,82 a
Ara.	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,64 a	0,60 a	0,57 a	1,48 b	13,82 b	16,41 b	15,47 b	12,37 b	3,92 a
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,64 a	0,97 b	0,49 a	1,29 b	9,65 a	12,65 a	16,21 b	7,32 a	4,13 a
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,68 a	0,66 a	0,71 a	1,92 c	13,82 b	16,52 b	13,79 b	9,77 b	8,64 b
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,59 a	0,69 a	0,54 a	1,41 b	9,65 a	10,64 a	10,74 a	6,70 a	5,68 a
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,56 a	0,71 a	0,49 a	1,26 b	13,82 b	15,43 b	16,64 b	10,36 b	7,52 b
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,58 a	0,48 a	0,46 a	0,79 a	9,65 a	10,73 a	8,07 a	6,61 a	3,56 a
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,62 a	0,61 a	0,59 a	1,25 b	13,82 b	15,61 b	13,88 b	11,07 b	4,08 a
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,46 a	0,62 a	0,47 a	1,19 b	9,65 a	7,78 a	8,63 a	6,84 a	4,55 a
BO	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,51 a	0,68 b	0,38 a	0,68 a	13,82 b	13,92 b	16,18 c	9,00 b	6,70 a
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,51 a	0,39 a	0,26 a	0,83 a	9,65 a	9,76 a	6,66 a	4,18 a	4,45 a
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,52 a	0,53 a	0,36 a	0,96 a	13,82 b	14,02 b	11,83 b	6,66 a	4,58 a
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,49 a	0,71 b	0,31 a	0,80 a	9,65 a	9,60 a	11,91 b	4,95 a	3,45 a
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,58 a	0,52 a	0,34 a	0,98 a	13,82 b	16,29 b	13,05 b	7,88 b	7,16 a
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,46 a	0,50 a	0,35 a	1,00 a	9,65 a	9,27 a	8,97 a	5,93 a	8,06 a
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,57 a	0,48 a	0,48 a	0,89 a	13,82 b	16,32 b	11,20 b	10,86 b	6,12 a
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,47 a	0,47 a	0,35 a	1,33 b	9,65 a	9,10 a	7,78 a	5,33 a	4,83 a
Curv.	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,58 a	0,46 a	0,42 a	0,91 a	13,82 b	15,27 b	11,99 c	6,57 a	4,77 b
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,50 a	0,25 a	0,27 a	1,06 a	9,65 a	9,10 a	4,51 a	3,54 a	4,82 b
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,59 a	0,37 a	0,51 a	0,95 a	13,82 b	14,13 b	8,48 b	5,65 a	1,96 a
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,63 a	0,61 a	0,57 a	1,00 a	9,65 a	10,83 a	9,65 c	6,86 a	3,66 b
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,55 a	0,45 a	0,53 a	1,19 a	13,82 b	14,70 b	11,84 c	8,45 a	4,19 b
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,75 a	0,41 a	0,36 a	1,14 a	9,65 a	13,70 b	7,35 b	4,43 a	5,55 b
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,76 a	0,48 a	0,55 a	0,97 a	13,82 b	19,45 c	12,07 c	5,51 a	5,67 b
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,58 a	0,51 a	0,57 a	0,91 a	9,65 a	10,66 a	8,95 a	5,90 a	1,98 a
Ita.	+C,+N,Sup.	0,44 a	-	0,44 a	0,37 a	0,83 b	13,82 b	-	11,19 a	5,97 b	9,49 b
	-C,+N,Sup.	0,44 a	-	0,68 a	0,28 a	0,51 a	9,65 a	-	12,98 b	3,54 a	3,67 a
	+C,+N,Inc.	0,44 a	-	0,57 a	0,61 a	0,84 b	13,82 b	-	12,30 b	7,71 b	5,84 b
	-C,+N,Inc.	0,44 a	-	0,48 a	0,31 a	0,84 b	9,65 a	-	7,94 a	3,86 a	3,27 a
	+C,-N,Sup.	0,44 a	-	0,60 a	0,41 a	0,78 b	13,82 b	-	15,64 c	6,59 b	7,09 b
	-C,-N,Sup.	0,44 a	-	0,53 a	0,34 a	0,64 a	9,65 a	-	9,74 a	4,22 a	5,41 b
	+C,-N,Inc.	0,44 a	-	0,68 a	0,44 a	0,87 b	13,82 b	-	17,52 c	5,73 b	7,04 b
	-C,-N,Inc.	0,44 a	-	0,47 a	0,48 a	0,79 b	9,65 a	-	7,80 a	4,74 a	7,22 b
JP	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,64 a	0,66 a	0,66 a	0,77 a	13,82 b	17,97 c	12,71 c	11,57 c	5,17 b
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,42 a	0,60 a	0,64 a	1,78 b	9,65 a	7,85 a	9,56 b	9,54 c	7,05 b
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,60 a	0,61 a	0,64 a	1,71 b	13,82 b	12,95 b	9,26 b	8,02 b	5,44 b
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,52 a	0,50 a	0,71 a	1,11 a	9,65 a	7,99 a	5,37 a	7,13 b	4,63 b

Continua...

Quadro 7 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	S (g/kg)					S (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
JP	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,52 a	0,69 a	0,69 a	1,02 a	13,82 b	13,73 b	13,53 c	12,25 c	6,76 b
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,62 a	0,57 a	0,53 a	1,16 a	9,65 a	11,99 b	9,54 b	8,11 b	6,70 b
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,54 a	0,69 a	0,54 a	1,05 a	13,82 b	11,92 b	10,74 c	9,11 c	2,69 a
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,73 a	0,85 a	0,55 a	0,99 a	9,65 a	9,93 a	7,77 b	4,00 a	2,21 a
TM	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,70 a	0,93 b	0,53 a	1,33 b	13,82 b	16,11 c	16,91 b	9,40 b	8,95 b
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,59 a	0,77 a	0,52 a	0,71 a	9,65 a	10,01 a	11,67 a	8,14 b	3,64 a
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,68 a	0,99 b	0,46 a	0,94 a	13,82 b	13,28 b	15,92 b	6,48 a	4,53 a
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,52 a	0,74 a	0,51 a	0,90 a	9,65 a	7,59 a	8,97 a	5,05 a	2,61 a
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,97 a	0,75 a	0,51 a	0,80 a	13,82 b	22,05 d	16,2 b	9,55 b	5,23 a
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,73 a	0,79 a	0,32 a	1,33 b	9,65 a	11,69 b	11,05 a	4,98 a	4,14 a
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,86 a	1,21 b	0,39 a	0,60 a	13,82 b	17,96 c	17,94 b	5,73 a	2,52 a
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,77 a	0,80 a	0,40 a	1,08 b	9,65 a	11,82 b	9,33 a	5,12 a	2,77 a
Vaz.	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,61 a	0,50 a	0,48 a	0,90 a	13,82 b	15,27 b	12,37 b	5,48 a	2,87 a
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,80 a	0,43 a	0,43 a	0,94 a	9,65 a	13,80 a	7,90 a	4,09 a	3,73 a
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,82 a	0,64 a	0,44 a	1,30 b	13,82 b	19,17 b	14,98 b	4,60 a	0,68 a
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,65 a	0,49 a	0,50 a	0,89 a	9,65 a	11,32 a	8,49 a	4,87 a	0,48 a
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,72 a	0,55 a	0,70 b	1,68 c	13,82 b	18,02 b	12,88 b	11,22 b	2,42 a
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,62 a	0,48 a	0,90 b	1,32 b	9,65 a	10,82 a	8,81 a	12,78 b	3,77 a
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,81 a	0,43 a	0,70 b	1,11 a	13,82 b	16,79 b	9,33 a	5,34 a	2,40 a
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,80 a	0,59 a	0,77 b	1,25 b	9,65 a	13,02 a	10,14 a	5,31 a	0,83 a
Virg.	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,64 a	0,49 a	0,37 a	1,20 b	13,82 b	17,68 c	11,73 b	8,84 b	10,31 b
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,68 a	0,43 a	0,39 a	0,77 a	9,65 a	13,50 b	7,47 a	6,76 a	5,46 a
	+C,+N,Inc.	0,44 a	0,61 a	0,49 a	0,39 a	0,83 a	13,82 b	14,73 b	10,40 b	8,41 b	6,77 a
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,65 a	0,40 a	0,38 a	0,92 a	9,65 a	11,32 a	6,49 a	5,70 a	9,45 b
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,73 a	0,51 a	0,38 a	1,04 b	13,82 b	20,33 d	12,71 b	9,24 b	8,50 b
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,62 a	0,43 a	0,41 a	0,76 a	9,65 a	12,10 a	7,73 a	6,82 a	6,47 a
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,65 a	0,47 a	0,45 a	1,12 b	13,82 b	17,00 c	11,00 b	8,59 b	10,43 b
	-C,-N,Inc.	0,44 a	0,49 a	0,39 a	0,35 a	0,77 a	9,65 a	9,27 a	6,43 a	5,69 a	7,84 a
Mogi	+C,+N,Sup.	0,44 a	0,66 a	0,85 a	0,74 a	-	13,82 b	15,07 b	15,32 b	5,33 a	-
	-C,+N,Sup.	0,44 a	0,63 a	0,66 a	0,52 a	-	9,65 a	10,14 a	9,76 a	3,96 a	-
	+C,+N,Inc.	0,44 a	1,11 b	0,79 a	0,59 a	-	13,82 b	18,44 c	13,47 b	5,03 a	-
	-C,+N,Inc.	0,44 a	0,65 a	1,13 b	0,54 a	-	9,65 a	9,91 a	13,47 b	4,35 a	-
	+C,-N,Sup.	0,44 a	0,74 a	0,80 a	0,60 a	-	13,82 b	16,62 b	13,59 b	4,85 a	-
	-C,-N,Sup.	0,44 a	0,76 a	0,67 a	0,41 a	-	9,65 a	12,64 a	10,67 a	2,80 a	-
	+C,-N,Inc.	0,44 a	0,81 a	0,81 a	0,53 a	-	13,82 b	16,12 b	11,16 a	4,69 a	-
	-C,-N,Inc.	0,44 a	1,27 b	0,83 a	0,61 a	-	9,65 a	20,69 c	10,60 a	3,23 a	-

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virginópolis; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade.



Quadro 8 – Médias por tratamento, nos tempos de coleta e locais avaliados, dos teores (g/kg) e estoques (kg/ha) de nitrogênio.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	N (g/kg)					N (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
Eun.	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 4,77 b	4,12 a	8,63 a	116,21 b	- 100,25 b	80,36 c	51,05 a		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 2,91 a	3,57 a	8,27 a	82,39 a	- 46,69 a	50,28 b	10,01 a		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 7,04 c	5,84 b	8,05 a	116,21 b	- 99,49 b	75,03 c	26,00 a		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 4,69 a	3,69 a	8,28 a	82,39 a	- 48,61 a	20,31 a	17,06 a		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 4,67 a	3,49 a	7,45 a	116,21 b	- 97,86 b	67,33 c	18,89 a		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 3,24 a	3,33 a	8,40 a	82,39 a	- 50,94 a	50,95 b	14,37 a		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 5,41 b	5,01 b	9,54 a	116,21 b	- 64,00 a	63,55 c	37,27 a		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 5,57 b	5,75 b	8,04 a	82,39 a	- 50,06 a	64,98 c	16,99 a		
Ara.	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 5,57 b	4,75 a	10,64 b	116,21 b	- 144,46 d	104,32 b	28,26 a		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 6,04 b	4,39 a	9,00 b	82,39 a	- 99,84 b	66,14 a	29,11 a		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 6,09 b	6,23 a	7,73 a	116,21 b	- 129,37 d	87,27 b	33,56 a		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 5,80 b	4,70 a	8,19 a	82,39 a	- 91,24 b	58,88 a	33,39 a		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 3,59 a	4,36 a	9,23 b	116,21 b	- 81,80 b	94,30 b	53,69 a		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 4,17 a	4,41 a	6,59 a	82,39 a	- 71,76 a	64,05 a	28,52 a		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 4,75 a	5,37 a	8,03 a	116,21 b	- 108,91 c	100,22 b	23,63 a		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 4,18 a	4,36 a	9,24 b	82,39 a	- 58,95 a	62,62 a	35,05 a		
BO	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 4,44 a	3,36 a	6,06 b	116,21 b	- 106,33 c	78,70 b	60,21 b		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 3,91 a	2,62 a	7,05 b	82,39 a	- 67,88 a	42,39 a	40,26 a		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 4,85 a	3,69 a	5,44 a	116,21 b	- 107,53 c	69,47 b	26,72 a		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 3,64 a	2,91 a	5,82 a	82,39 a	- 59,80 a	46,06 a	24,37 a		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 3,97 a	3,00 a	6,72 b	116,21 b	- 99,45 c	69,29 b	51,52 b		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 3,67 a	2,45 a	4,75 a	82,39 a	- 65,43 a	42,02 a	38,71 a		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 3,61 a	4,11 a	4,88 a	116,21 b	- 85,57 b	93,52 c	32,65 a		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 3,48 a	2,45 a	5,57 a	82,39 a	- 57,16 a	36,45 a	18,10 a		
Curv.	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 3,37 a	4,96 b	8,39 a	116,21 b	- 88,32 b	77,34 b	46,87 b		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 3,11 a	3,33 a	7,22 a	82,39 a	- 56,24 a	44,48 a	32,74 b		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 3,34 a	6,07 b	8,59 a	116,21 b	- 76,52 a	64,92 b	15,48 a		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 4,32 a	5,28 b	8,41 a	82,39 a	- 69,25 a	59,42 a	29,14 b		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 3,48 a	5,46 b	7,87 a	116,21 b	- 91,73 b	86,07 b	29,92 b		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 3,65 a	3,33 a	6,88 a	82,39 a	- 65,05 a	41,57 a	32,45 b		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 3,96 a	6,83 b	7,90 a	116,21 b	- 100,74 b	68,53 b	46,38 b		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 3,34 a	4,89 b	7,32 a	82,39 a	- 59,34 a	50,51 a	14,62 a		
Ita.	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 3,96 a	4,50 a	6,96 b	116,21 b	- 101,41 b	72,02 b	79,45 d		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 4,32 a	3,75 a	5,89 b	82,39 a	- 82,32 b	47,17 a	42,83 b		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 2,98 a	6,57 b	5,54 a	116,21 b	- 64,10 a	83,41 b	39,51 b		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 3,07 a	3,60 a	5,43 a	82,39 a	- 50,99 a	44,57 a	20,69 a		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 3,45 a	5,14 a	6,30 b	116,21 b	- 89,51 b	83,33 b	58,91 c		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 2,86 a	4,49 a	4,65 a	82,39 a	- 52,62 a	55,04 a	42,09 b		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 3,12 a	4,95 a	5,46 a	116,21 b	- 79,31 b	63,15 a	44,52 b		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 3,32 a	4,42 a	4,31 a	82,39 a	- 54,20 a	44,86 a	40,84 b		
JP	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 4,40 a	5,21 b	4,77 a	116,21 b	- 84,07 b	92,20 d	31,97 b		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 3,77 a	5,61 b	8,02 b	82,39 a	- 60,45 a	83,57 d	32,00 b		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 5,01 a	4,71 b	6,11 a	116,21 b	- 74,62 b	60,80 c	16,47 a		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 4,36 a	5,12 b	7,95 b	82,39 a	- 46,65 a	50,52 b	31,15 b		

Continua...

Quadro 8 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	N (g/kg)					N (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
JP	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 4,35 a	4,10 a	8,03 b	116,21 b	- 83,09 b	73,68 c	53,66 b		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 4,84 a	3,13 a	6,68 a	82,39 a	- 81,79 b	48,45 b	36,57 b		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 4,30 a	3,79 a	7,70 b	116,21 b	- 65,29 a	64,76 c	19,87 a		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 5,39 a	3,63 a	5,77 a	82,39 a	- 48,89 a	27,49 a	13,84 a		
TM	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 6,94 b	5,65 a	7,18 b	116,21 b	- 125,76 c	100,23 b	48,56 b		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 4,32 a	4,98 a	6,56 a	82,39 a	- 65,74 a	68,72 a	35,08 b		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 4,25 a	5,54 a	7,46 b	116,21 b	- 73,40 a	82,71 b	35,27 b		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 5,13 a	5,51 a	5,55 a	82,39 a	- 61,96 a	55,55 a	16,05 a		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 4,76 a	4,86 a	7,11 b	116,21 b	- 102,76 b	92,88 b	49,97 b		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 5,21 a	4,19 a	9,62 c	82,39 a	- 72,54 a	64,91 a	30,56 a		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 6,29 b	5,02 a	4,76 a	116,21 b	- 93,75 b	75,88 a	22,11 a		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 6,09 b	4,43 a	7,71 b	82,39 a	- 72,30 a	55,04 a	18,53 a		
Vaz.	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 3,28 a	6,01 a	8,12 a	116,21 b	- 82,05 b	64,38 b	28,06 b		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 3,12 a	4,91 a	8,86 a	82,39 a	- 57,76 a	45,21 a	35,53 b		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 3,97 a	5,91 a	9,14 a	116,21 b	- 91,98 b	58,92 b	4,52 a		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 3,30 a	7,51 a	12,83 b	82,39 a	- 57,34 a	71,97 b	6,81 a		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 2,85 a	5,81 a	9,99 a	116,21 b	- 67,64 a	94,03 c	14,30 a		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 4,24 a	4,46 a	10,70 a	82,39 a	- 78,41 b	61,76 b	33,16 b		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 2,51 a	5,51 a	8,90 a	116,21 b	- 56,97 a	40,11 a	19,46 a		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 3,27 a	5,39 a	9,73 a	82,39 a	- 56,10 a	37,26 a	7,06 a		
Virg.	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 4,29 a	2,97 a	7,40 b	116,21 b	- 104,48 c	70,85 b	66,45 a		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 3,54 a	5,28 b	6,02 b	82,39 a	- 60,95 a	92,47 c	43,34 a		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 3,70 a	3,26 a	5,55 b	116,21 b	- 79,54 b	70,66 b	44,95 a		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 4,44 a	2,92 a	4,67 a	82,39 a	- 55,68 a	43,87 a	49,50 a		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 3,40 a	2,66 a	6,48 b	116,21 b	- 84,09 b	64,32 b	53,94 a		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 3,39 a	2,81 a	4,49 a	82,39 a	- 60,72 a	46,81 a	38,43 a		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 2,99 a	2,68 a	5,43 b	116,21 b	- 69,67 a	51,16 a	46,30 a		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 2,40 a	2,45 a	3,77 a	82,39 a	- 40,02 a	39,65 a	37,61 a		
Mogi	+C,+N,Sup.	3,67 a	- 6,10 b	8,83 a	-	116,21 b	- 107,25 b	62,49 a	-		
	-C,+N,Sup.	3,79 a	- 4,64 a	7,16 a	-	82,39 a	- 67,64 a	53,55 a	-		
	+C,+N,Inc.	3,67 a	- 5,06 a	6,13 a	-	116,21 b	- 86,84 b	50,34 a	-		
	-C,+N,Inc.	3,79 a	- 5,96 b	6,59 a	-	82,39 a	- 67,15 a	52,99 a	-		
	+C,-N,Sup.	3,67 a	- 4,94 a	6,56 a	-	116,21 b	- 84,55 b	55,06 a	-		
	-C,-N,Sup.	3,79 a	- 3,29 a	7,52 a	-	82,39 a	- 51,97 a	51,51 a	-		
	+C,-N,Inc.	3,67 a	- 6,63 b	6,85 a	-	116,21 b	- 90,92 b	61,34 a	-		
	-C,-N,Inc.	3,79 a	- 4,88 a	6,93 a	-	82,39 a	- 59,36 a	36,36 a	-		

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virginópolis; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Quadro 9 – Médias por tratamento, nos tempos de coleta e locais avaliados, dos teores (g/kg) e estoques (kg/ha) de fósforo.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	P (g/kg)					P (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
Eun.	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,28 a	0,33 b	0,29 a	0,38 a	12,67 b	7,05 b	7,05 b	5,60 b	0,91 a
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,19 a	0,25 a	0,24 a	0,38 a	5,79 a	3,59 a	3,96 a	3,24 a	0,46 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,31 a	0,47 b	0,31 a	0,32 a	12,67 b	6,33 b	6,70 b	4,05 b	1,03 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,23 a	0,31 a	0,27 a	0,39 a	5,79 a	3,36 a	3,25 a	1,79 a	0,84 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,29 a	0,36 b	0,27 a	0,41 a	12,67 b	7,21 b	7,48 b	5,08 b	1,06 a
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,21 a	0,25 a	0,21 a	0,27 a	5,79 a	3,72 a	4,06 a	3,26 a	0,61 a
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,37 a	0,38 b	0,34 a	0,39 a	12,67 b	7,20 b	4,51 a	4,44 b	1,49 a
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,24 a	0,34 b	0,51 b	0,27 a	5,79 a	3,68 a	3,03 a	5,73 b	0,65 a
Ara.	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,36 c	0,26 a	0,40 b	0,52 b	12,67 b	9,10 c	6,81 b	8,66 c	1,42 a
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,26 b	0,28 a	0,22 a	0,43 b	5,79 a	4,98 b	4,67 a	3,39 a	1,48 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,23 b	0,29 a	0,31 b	0,36 a	12,67 b	5,61 b	6,02 b	4,32 a	1,58 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,15 a	0,22 a	0,27 a	0,27 a	5,79 a	2,78 a	3,25 a	3,47 a	1,06 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,33 c	0,29 a	0,32 b	0,49 b	12,67 b	9,00 c	6,63 b	7,00 b	2,87 a
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,24 b	0,23 a	0,40 b	0,32 a	5,79 a	4,45 b	3,94 a	5,83 b	1,45 a
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,23 b	0,26 a	0,35 b	0,30 a	12,67 b	4,67 b	5,70 b	6,65 b	1,08 a
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,14 a	0,27 a	0,25 a	0,45 b	5,79 a	2,36 a	3,77 a	3,57 a	1,76 a
BO	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,25 b	0,28 b	0,19 b	0,26 a	12,67 b	6,80 c	6,72 c	4,36 b	2,59 b
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,20 a	0,17 a	0,13 a	0,27 a	5,79 a	3,80 a	2,84 a	2,13 a	1,46 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,18 a	0,24 b	0,21 b	0,28 a	12,67 b	4,87 b	5,32 b	3,96 b	1,38 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,18 a	0,18 a	0,13 a	0,27 a	5,79 a	3,54 a	2,94 a	1,99 a	1,08 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,24 b	0,25 b	0,19 b	0,33 a	12,67 b	6,76 c	6,25 c	4,29 b	2,59 b
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,19 a	0,17 a	0,13 a	0,25 a	5,79 a	3,80 a	2,98 a	2,16 a	2,04 b
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,17 a	0,20 a	0,22 b	0,28 a	12,67 b	4,87 b	4,82 b	4,91 b	1,83 b
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,16 a	0,18 a	0,15 a	0,24 a	5,79 a	3,15 a	2,91 a	2,19 a	0,89 a
Curv.	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,17 a	0,19 a	0,37 b	0,37 a	12,67 b	4,50 b	5,07 b	5,77 b	1,99 a
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,15 a	0,14 a	0,19 a	0,31 a	5,79 a	2,63 a	2,53 a	5,52 a	1,37 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,18 a	0,21 a	0,34 b	0,32 a	12,67 b	4,21 b	4,72 b	3,71 a	0,62 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,09 a	0,24 a	0,25 a	0,33 a	5,79 a	1,48 a	3,87 b	2,73 a	1,12 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,14 a	0,16 a	0,33 b	0,33 a	12,67 b	3,88 b	4,27 b	5,26 b	1,17 a
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,14 a	0,15 a	0,19 a	0,31 a	5,79 a	2,61 a	2,58 a	3,33 a	1,45 a
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,18 a	0,20 a	0,34 b	0,36 a	12,67 b	4,67 b	5,13 b	3,42 a	2,12 a
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,13 a	0,20 a	0,29 b	0,33 a	5,79 a	2,28 a	3,54 a	3,08 a	0,59 a
Ita.	+C,+N,Sup.	0,40 b	-	0,31 b	0,28 b	0,33 b	12,67 b	-	7,79 c	4,45 b	3,71 c
	-C,+N,Sup.	0,27 a	-	0,25 b	0,22 a	0,28 b	5,79 a	-	4,73 b	2,75 a	2,02 b
	+C,+N,Inc.	0,40 b	-	0,25 b	0,35 c	0,28 b	12,67 b	-	5,22 b	4,46 b	2,09 b
	-C,+N,Inc.	0,27 a	-	0,19 a	0,17 a	0,20 a	5,79 a	-	3,07 a	2,12 a	0,78 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	-	0,22 a	0,33 c	0,38 c	12,67 b	-	5,64 b	5,26 b	3,45 c
	-C,-N,Sup.	0,27 a	-	0,17 a	0,27 b	0,28 b	5,79 a	-	3,03 a	3,27 a	2,56 b
	+C,-N,Inc.	0,40 b	-	0,20 a	0,33 c	0,29 b	12,67 b	-	5,10 b	4,15 b	2,39 b
	-C,-N,Inc.	0,27 a	-	0,16 a	0,26 b	0,22 a	5,79 a	-	2,59 a	2,51 a	2,00 b
JP	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,32 b	0,27 a	0,40 b	0,26 a	12,67 b	8,98 d	5,02 b	7,05 d	1,71 a
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,17 a	0,24 a	0,38 b	0,30 a	5,79 a	3,06 a	3,77 a	5,59 c	1,26 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,28 b	0,30 a	0,34 b	0,30 a	12,67 b	6,09 c	4,46 b	4,33 c	0,76 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,21 a	0,26 a	0,32 b	0,32 b	5,79 a	3,15 a	2,77 a	3,13 b	1,25 a

Continua...

Quadro 9 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	P (g/kg)					P (kg/ha)				
		Tempo (dias)					0	90	180	365	1095
		0	90	180	365	1095					
JP	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,22 a	0,28 a	0,27 a	0,34 b	12,67 b	5,92 c	5,38 b	4,97 c	2,28 a
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,18 a	0,21 a	0,22 a	0,35 b	5,79 a	3,33 a	3,57 a	3,30 b	1,87 a
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,24 a	0,26 a	0,28 a	0,43 b	12,67 b	5,23 b	3,90 a	4,91 c	1,09 a
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,35 b	0,29 a	0,19 a	0,22 a	5,79 a	4,70 b	2,55 a	1,37 a	0,48 a
TM	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,28 a	0,48 b	0,37 a	0,40 b	12,67 b	6,50 b	8,59 c	6,42 b	2,65 a
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,23 a	0,28 a	0,32 a	0,30 a	5,79 a	3,82 a	4,19 a	4,33 a	1,61 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,33 a	0,37 a	0,41 a	0,32 a	12,67 b	6,34 b	5,90 b	5,94 b	1,57 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,25 a	0,27 a	0,27 a	0,24 a	5,79 a	3,69 a	3,26 a	2,81 a	0,68 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,31 a	0,30 a	0,35 a	0,35 b	12,67 b	7,00 b	6,53 b	6,57 b	2,46 a
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,32 a	0,31 a	0,32 a	0,41 b	5,79 a	5,14 b	4,39 a	4,96 b	1,25 a
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,28 a	0,49 b	0,36 a	0,22 a	12,67 b	5,74 b	7,20 b	5,57 b	1,05 a
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,25 a	0,33 a	0,31 a	0,31 a	5,79 a	3,76 a	3,87 a	3,88 a	0,73 a
Vaz.	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,24 a	0,22 a	0,41 a	0,35 a	12,67 b	5,99 b	5,42 b	4,23 c	1,17 a
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,19 a	0,15 a	0,25 a	0,36 a	5,79 a	3,25 a	2,79 a	2,30 a	1,48 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,23 a	0,20 a	0,31 a	0,32 a	12,67 b	5,36 b	4,69 b	3,02 a	0,17 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,17 a	0,13 a	0,36 a	0,28 a	5,79 a	3,00 a	2,28 a	3,39 a	0,15 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,23 a	0,16 a	0,35 a	0,43 b	12,67 b	5,81 b	3,79 a	5,58 c	0,59 a
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,20 a	0,17 a	0,28 a	0,47 b	5,79 a	3,50 a	3,15 a	3,97 b	1,34 a
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,22 a	0,16 a	0,33 a	0,42 b	12,67 b	4,42 b	3,56 a	2,39 a	1,06 a
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,16 a	0,15 a	0,32 a	0,22 a	5,79 a	2,51 a	2,61 a	2,23 a	0,23 a
Virg.	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,26 b	0,25 b	0,20 b	0,38 d	12,67 b	7,33 c	6,03 d	4,83 c	3,37 b
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,22 a	0,16 a	0,20 b	0,31 c	5,79 a	4,45 b	2,83 a	3,39 b	2,24 a
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,21 a	0,20 b	0,17 b	0,27 b	12,67 b	5,05 b	4,23 b	3,70 b	2,16 a
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,17 a	0,17 a	0,18 b	0,22 a	5,79 a	3,03 a	2,70 a	2,67 a	2,24 a
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,28 b	0,21 b	0,20 b	0,34 c	12,67 b	7,99 c	5,13 c	4,89 c	2,76 b
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,21 a	0,18 a	0,21 b	0,23 a	5,79 a	3,98 a	3,12 a	3,54 b	2,01 a
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,21 a	0,19 b	0,20 b	0,30 c	12,67 b	5,26 b	4,37 b	3,85 b	2,72 b
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,18 a	0,13 a	0,13 a	0,19 a	5,79 a	3,36 a	2,10 a	2,12 a	1,89 a
Mogi	+C,+N,Sup.	0,40 b	0,27 a	0,46 b	0,47 a	-	12,67 b	5,96 b	8,05 b	3,46 a	-
	-C,+N,Sup.	0,27 a	0,24 a	0,27 a	0,40 a	-	5,79 a	3,87 a	3,80 a	3,06 a	-
	+C,+N,Inc.	0,40 b	0,38 a	0,32 a	0,43 a	-	12,67 b	6,33 b	5,35 a	3,67 a	-
	-C,+N,Inc.	0,27 a	0,25 a	0,44 b	0,37 a	-	5,79 a	3,53 a	4,87 a	2,94 a	-
	+C,-N,Sup.	0,40 b	0,34 a	0,42 b	0,50 a	-	12,67 b	7,58 b	7,07 b	4,03 a	-
	-C,-N,Sup.	0,27 a	0,23 a	0,19 a	0,43 a	-	5,79 a	3,73 a	2,97 a	2,87 a	-
	+C,-N,Inc.	0,40 b	0,34 a	0,49 b	0,39 a	-	12,67 b	6,83 b	6,72 b	3,50 a	-
	-C,-N,Inc.	0,27 a	0,25 a	0,39 b	0,38 a	-	5,79 a	3,95 a	4,72 a	2,19 a	-

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virginópolis; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

Quadro 10 – Médias por tratamento, nos tempos de coleta e locais avaliados, dos teores (g/kg) e estoques (kg/ha) de potássio.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	K (g/kg)					K (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
Eun.	+C,+N,Sup.	2,65 a	2,31 b	1,49 b	0,95 a	0,36 a	84,01 b	57,58 c	31,33 b	18,92 a	0,87 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	1,52 a	0,43 a	0,72 a	0,38 a	44,09 a	27,79 a	7,15 a	10,17 a	0,46 a
	+C,+N,Inc.	2,65 a	2,04 b	1,54 b	0,76 a	0,26 a	84,01 b	46,77 b	22,15 b	10,55 a	0,87 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	1,24 a	0,49 a	0,31 a	0,42 a	44,09 a	18,26 a	4,72 a	2,35 a	0,93 a
	+C,-N,Sup.	2,65 a	2,09 b	1,60 b	0,56 a	0,50 a	84,01 b	51,84 c	32,36 b	11,02 a	1,31 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	1,53 a	1,79 b	0,23 a	0,31 a	44,09 a	28,22 a	29,05 b	3,72 a	0,70 a
	+C,-N,Inc.	2,65 a	3,45 c	1,08 b	0,41 a	0,31 a	84,01 b	65,41 c	14,12 a	5,68 a	1,20 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	2,39 b	0,53 a	0,90 a	0,40 a	44,09 a	35,40 a	4,98 a	10,11 a	0,87 a
Ara.	+C,+N,Sup.	2,65 b	2,62 c	1,79 b	1,35 b	0,44 a	84,01 b	58,87 d	46,33 d	29,53 c	1,30 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	1,68 c	1,28 b	1,07 b	0,49 a	44,09 a	32,93 c	20,99 b	16,56 b	1,82 a
	+C,+N,Inc.	2,65 b	0,77 a	0,73 a	0,60 a	0,43 a	84,01 b	18,70 b	15,12 b	8,24 a	2,09 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	0,60 a	0,50 a	0,49 a	0,34 a	44,09 a	10,86 a	7,46 a	6,06 a	1,37 a
	+C,-N,Sup.	2,65 b	1,95 c	1,73 b	0,90 b	0,52 a	84,01 b	53,97 d	38,88 d	19,65 b	2,98 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	1,68 c	1,64 b	1,32 b	1,03 a	44,09 a	30,92 c	28,78 c	19,54 b	5,42 a
	+C,-N,Inc.	2,65 b	1,21 b	0,63 a	1,10 b	0,42 a	84,01 b	30,68 c	13,94 b	20,85 b	1,72 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	0,53 a	0,58 a	0,17 a	0,43 a	44,09 a	8,93 a	7,99 a	2,39 a	1,67 a
BO	+C,+N,Sup.	2,65 b	1,51 c	0,50 b	0,44 a	0,30 a	84,01 b	41,55 c	11,97 b	3,23 a	2,99 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	1,42 c	0,13 a	0,29 a	0,52 a	44,09 a	27,28 b	2,21 a	4,71 a	2,94 a
	+C,+N,Inc.	2,65 b	0,79 a	0,45 b	0,44 a	0,32 a	84,01 b	21,34 b	9,95 b	8,12 a	1,59 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	0,64 a	0,32 a	0,37 a	0,33 a	44,09 a	12,54 a	5,06 a	5,79 a	1,28 a
	+C,-N,Sup.	2,65 b	1,41 c	0,24 a	0,20 a	0,40 a	84,01 b	39,86 c	5,97 a	4,59 a	3,20 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	1,20 b	0,31 a	0,12 a	0,31 a	44,09 a	24,03 b	5,56 a	2,02 a	2,52 a
	+C,-N,Inc.	2,65 b	0,90 a	0,44 b	0,20 a	0,29 a	84,01 b	25,37 b	10,32 b	4,52 a	1,88 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	0,71 a	0,35 a	0,27 a	0,28 a	44,09 a	13,82 a	5,66 a	4,06 a	1,09 a
Curv.	+C,+N,Sup.	2,65 a	0,48 a	0,67 a	2,52 b	0,72 a	84,01 b	12,89 a	17,50 a	38,96 b	3,82 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	0,26 a	0,29 a	1,56 b	0,76 a	44,09 a	4,60 a	5,21 a	21,26 a	3,46 a
	+C,+N,Inc.	2,65 a	0,39 a	0,67 a	1,06 a	0,55 a	84,01 b	9,28 a	15,24 a	11,66 a	1,05 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	0,51 a	1,40 b	1,60 b	0,66 a	44,09 a	8,73 a	22,90 b	16,18 a	2,31 a
	+C,-N,Sup.	2,65 a	0,98 a	0,61 a	1,83 b	1,35 b	84,01 b	26,58 b	15,68 a	30,65 b	4,93 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	0,79 a	0,42 a	0,59 a	1,99 b	44,09 a	14,48 a	7,51 a	7,76 a	8,33 a
	+C,-N,Inc.	2,65 a	1,13 a	0,52 a	1,29 a	0,63 a	84,01 b	29,14 b	13,23 a	12,70 a	3,72 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	0,58 a	1,96 b	0,79 a	0,56 a	44,09 a	10,55 a	34,30 b	8,73 a	1,10 a
Ita.	+C,+N,Sup.	2,65 b	-	1,25 c	0,15 a	0,28 a	84,01 b	-	32,15 f	2,34 a	3,14 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	-	1,15 c	0,17 a	0,26 a	44,09 a	-	21,61 d	2,16 a	1,79 a
	+C,+N,Inc.	2,65 b	-	0,49 a	0,29 a	0,24 a	84,01 b	-	1058 b	3,67 a	1,66 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	-	0,35 a	0,46 b	0,30 a	44,09 a	-	5,73 a	5,68 a	1,11 a
	+C,-N,Sup.	2,65 b	-	1,09 c	0,21 a	0,33 a	84,01 b	-	28,48 e	3,36 a	3,15 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	-	0,90 b	0,15 a	0,36 a	44,09 a	-	16,31 c	1,88 a	3,17 a
	+C,-N,Inc.	2,65 b	-	0,61 a	0,28 a	0,26 a	84,01 b	-	15,41 c	3,27 a	2,09 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	-	0,42 a	0,29 a	0,20 a	44,09 a	-	6,89 a	2,76 a	1,76 a
JP	+C,+N,Sup.	2,65 a	1,60 b	0,70 a	0,75 a	0,29 a	84,01 b	45,32 c	13,55 a	13,92 b	1,90 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	0,41 a	0,24 a	0,47 a	1,06 a	44,09 a	7,60 a	3,84 a	7,22 a	3,94 a
	+C,+N,Inc.	2,65 a	0,91 b	0,61 a	0,34 a	0,43 a	84,01 b	19,79 b	8,90 a	4,28 a	0,93 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	0,17 a	0,39 a	1,91 b	0,36 a	44,09 a	2,65 a	4,13 a	17,19 b	1,28 a

Continua...

Quadro 10 – Cont.

Local <sup>(1)</sup>	Trat. <sup>(2)</sup>	K (g/kg)					K (kg/ha)				
		Tempo (dias)									
		0	90	180	365	1095	0	90	180	365	1095
JP	+C,-N,Sup.	2,65 a	0,76 b	0,37 a	1,40 b	0,49 a	84,01 b	20,08 b	7,14 a	22,42 b	3,22 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	0,29 a	0,46 a	0,30 a	0,47 a	44,09 a	5,44 a	7,85 a	4,48 a	2,67 a
	+C,-N,Inc.	2,65 a	0,26 a	0,58 a	0,66 a	0,54 a	84,01 b	5,61 a	8,94 a	11,83 b	1,57 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	3,29 c	0,74 a	0,42 a	0,35 a	44,09 a	42,60 c	6,62 a	3,21 a	0,78 a
TM	+C,+N,Sup.	2,65 a	1,87 b	2,14 b	1,30 a	1,00 a	84,01 b	42,78 c	37,73 b	22,45 a	6,57 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	1,24 a	0,74 a	1,05 a	0,39 a	44,09 a	21,13 b	11,23 a	11,71 a	2,04 a
	+C,+N,Inc.	2,65 a	0,52 a	0,34 a	1,25 a	1,07 a	84,01 b	10,06 a	5,91 a	19,15 a	5,51 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	0,27 a	0,49 a	0,50 a	0,21 a	44,09 a	4,06 a	5,98 a	4,30 a	0,60 a
	+C,-N,Sup.	2,65 a	1,08 a	0,33 a	0,46 a	1,00 a	84,01 b	25,62 b	7,25 a	8,59 a	8,67 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	2,97 b	2,72 b	1,68 a	0,58 a	44,09 a	46,78 c	35,71 b	25,61 a	1,94 a
	+C,-N,Inc.	2,65 a	1,08 a	2,04 b	1,43 a	0,24 a	84,01 b	10,37 a	30,81 b	21,54 a	1,25 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	1,81 b	0,74 a	1,63 a	0,31 a	44,09 a	28,13 b	8,79 a	19,04 a	0,73 a
Vaz.	+C,+N,Sup.	2,65 a	1,61 b	1,36 a	1,05 a	1,18 a	84,01 b	40,27 c	33,82 b	9,53 a	3,34 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	1,29 a	0,96 a	0,70 a	1,16 a	44,09 a	22,60 b	17,89 a	5,96 a	4,36 a
	+C,+N,Inc.	2,65 a	1,36 a	0,91 a	1,80 b	2,29 b	84,01 b	31,66 c	20,42 a	16,11 a	1,19 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	0,59 a	0,69 a	1,40 b	1,71 a	44,09 a	10,34 a	11,92 a	12,32 a	0,92 a
	+C,-N,Sup.	2,65 a	2,19 b	1,06 a	1,97 b	2,47 b	84,01 b	55,18 d	25,11 b	31,65 b	3,19 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	1,86 b	0,77 a	0,34 a	1,80 a	44,09 a	33,11 c	14,36 a	4,80 a	5,56 a
	+C,-N,Inc.	2,65 a	1,20 a	0,75 a	1,34 b	1,69 a	84,01 b	25,03 b	16,44 a	8,09 a	3,68 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	0,90 a	0,46 a	1,26 b	1,34 a	44,09 a	14,36 a	7,92 a	8,78 a	0,89 a
Virg.	+C,+N,Sup.	2,65 b	1,45 c	0,52 a	0,26 a	0,31 a	84,01 b	40,14 c	12,77 b	6,24 a	2,77 a
	-C,+N,Sup.	2,03 a	1,16 c	0,50 a	0,20 a	0,30 a	44,09 a	23,28 b	8,26 a	3,36 a	2,20 a
	+C,+N,Inc.	2,65 b	0,46 a	0,40 a	1,08 b	0,24 a	84,01 b	11,24 a	8,56 a	22,87 c	1,89 a
	-C,+N,Inc.	2,03 a	0,41 a	0,32 a	0,96 b	0,19 a	44,09 a	7,11 a	5,09 a	14,26 b	2,04 a
	+C,-N,Sup.	2,65 b	1,31 c	0,55 a	0,46 a	0,32 a	84,01 b	36,93 c	13,50 b	11,04 a	2,67 a
	-C,-N,Sup.	2,03 a	0,88 b	0,36 a	0,46 a	0,30 a	44,09 a	17,14 b	6,34 a	7,57 a	2,58 a
	+C,-N,Inc.	2,65 b	0,64 a	0,37 a	0,47 a	0,27 a	84,01 b	16,78 b	8,43 a	8,79 a	2,62 a
	-C,-N,Inc.	2,03 a	0,22 a	0,09 a	0,27 a	0,24 a	44,09 a	4,16 a	1,50 a	4,38 a	2,32 a
Mogi	+C,+N,Sup.	2,65 a	1,28 a	2,71 b	0,48 a	-	84,01 b	28,34 a	47,80 b	3,30 a	-
	-C,+N,Sup.	2,03 a	0,72 a	1,79 a	0,47 a	-	44,09 a	11,80 a	24,94 a	3,34 a	-
	+C,+N,Inc.	2,65 a	2,00 b	0,82 a	0,39 a	-	84,01 b	33,98 a	13,41 a	3,67 a	-
	-C,+N,Inc.	2,03 a	1,29 a	1,43 a	1,01 a	-	44,09 a	19,16 a	15,65 a	8,00 a	-
	+C,-N,Sup.	2,65 a	2,84 b	2,95 b	0,48 a	-	84,01 b	63,09 b	51,87 b	3,69 a	-
	-C,-N,Sup.	2,03 a	0,58 a	0,53 a	0,20 a	-	44,09 a	9,50 a	8,29 a	1,31 a	-
	+C,-N,Inc.	2,65 a	1,34 a	1,94 a	0,18 a	-	84,01 b	26,51 a	25,89 a	1,58 a	-
	-C,-N,Inc.	2,03 a	1,04 a	3,02 b	0,17 a	-	44,09 a	16,57 a	37,78 b	0,93 a	-

<sup>(1)</sup> Eun. – Eunápolis; Ara. – Aracruz; BO – Belo Oriente; Curv. – Curvelo; JP – João Pinheiro; TM – Três Marias; Virg. – Virginópolis; Ita – Itamarandiba; Mogi – Mogi-Guaçu; Vaz. – Vazante; <sup>(2)</sup> Tratamentos: +C: presença de casca; -C: ausência de casca; +N – presença de N externo; -N: ausência de N externo; Sup.: mantidos em superfície; Inc.: incorporados a 5 cm de profundidade; Médias seguidas pela mesma letra, em cada tempo, não diferem entre si pelo teste Scott-Knott a 5 % de probabilidade.

### III. CAPÍTULO 2

## USO DA ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO PARA PREDIÇÃO DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS RESÍDUOS DA COLHEITA DE EUCALIPTO

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso da espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) para prever a composição química de resíduos da colheita do eucalipto em decomposição. Foram testadas 21 combinações de pré-processamento espectral, variando entre a correção do espalhamento e aplicação de derivadas, até o segundo nível. As amostras utilizadas foram provenientes de um experimento de decomposição de resíduos da colheita de eucalipto, por meio do método de *litter bags*, instalado em cinco locais do Extremo Sul da BA. O experimento era composto por tratamentos que combinavam resíduos de árvores com diferentes teores internos de N (árvores não fertilizadas e fertilizadas com 320 kg ha<sup>-1</sup> N) e composições de resíduos (folha + galho e folha + galho + casca). Os *litter bags* foram coletados em cinco tempos (0, 1, 3, 6 e 12 meses) após a instalação do experimento e os componentes separados. Nos diferentes tempos, determinaram-se os teores de C, N lignina insolúvel Klason, lignina solúvel, holocelulose e extrativos. Com base na distribuição de frequências, foram selecionadas 308 amostras para serem utilizadas nas análises NIRS. Em cada uma das combinações testadas, aplicou-se a técnica de análise de componentes principais (PCA) para identificar *outliers* e definir os grupos de calibração e validação. Com uso da mPLS (regressão modificada dos mínimos quadrados parciais) relacionou-se os espectros obtidos com os valores determinados pelos métodos químicos. Os modelos foram avaliados pelos resultados da validação cruzada e validação externa. Os modelos obtidos foram considerados eficientes na predição de todas as características, em todos os tempos, sendo para N e extrativos os mais acurados. Quando se utilizou formas diferenciadas de pré-processamento espectral para cada componente, ajustaram-se modelos com maior capacidade preditiva. O uso de apenas uma forma de pré-processamento (StdMSC 2<sup>a</sup> d.) possibilitou prever o comportamento de todas as características químicas avaliadas com boa precisão, apesar dessa combinação não ter sido identificada como a melhor forma de pré-processamento para cada característica individualmente. Assim, verificou-se que é viável a utilização do NIRS para predição da

composição química de diferentes componentes de resíduos da colheita do eucalipto em decomposição.

**Palavras-chave:** NIRS; pré-processamento espectral; qualidade da serapilheira.

## **USING NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY TO PREDICT THE CHEMICAL COMPOSITION OF EUCALYPT HARVEST RESIDUES**

### **ABSTRACT**

The main purpose of this study was to evaluate the viability of using near-infrared spectroscopy (NIRS) to predict the chemical composition of decomposing eucalypt harvest residues. We tested 21 combinations of spectral pre-processing methods ranging from scatter correction to the application of 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> derivatives. Our samples came from litter bags experiments setup to evaluate the decomposition of eucalypt harvest residues at five different sites in Southern Bahia. The experiments consisted of four treatments that were the combination of eucalypt harvest residue (leaves + branches or leaves + branches + bark) which came from plants grown under different N supply levels (unfertilized and fertilized with 320 kg ha<sup>-1</sup> N). Litter bags were collected in five times (0, 1, 3, 6, and 12 months) after experiment installation and the components were separated. At each time, contents of C, N, Klason lignin, soluble lignin, holocellulose and extractives were determined. In each combination tested, we applied the principal component analyses (PCA) to identify outliers and define the calibration and validation sets. We related the spectra to the chemical data using the modified partial least square regression (mPLS). The models were evaluated using the cross validation and external validation results. For all characteristics in all stages of decomposition the models were considered efficient whereas for N and extractives the most accurate ones. Using different pre-processing techniques for each characteristic models with better predictive capacity were achieved. However, we were able to predict the behavior of all characteristics with good accuracy using just one pre-processing combination (StdMSC 2<sup>nd</sup>d.), despite the fact that this combination hasn't been identified as the best to each characteristic alone. Therefore, it has been shown that it is feasible to predict the chemical composition of decomposing eucalypt harvest residues using NIRS.

**Keywords:** NIRS; spectral pre-processing; litter quality.



## 1. INTRODUÇÃO

Solos de ecossistemas florestais estocam uma fração significativa do C global (30%) e podem funcionar como um eficiente sumidouro de CO<sub>2</sub> da atmosfera se manejados corretamente (Lal, 2005). Os resíduos da colheita da vegetação constituem fração significativa de entrada de C no solo (Janzen, 2004). Assim, o entendimento dos processos de decomposição desses resíduos é fundamental na compreensão do ciclo de C.

A dinâmica dos materiais aportados ao solo é controlada por fatores climáticos, em escala regional, e pela sua composição química, em escala local (Berg, 2000). Segundo Martens (2000), o conhecimento das características bioquímicas do material permite uma maior capacidade de predição do sequestro de C ao longo do tempo.

Alguns índices sugeridos para avaliar a qualidade do material e inferir sobre sua decomposição são teor de N, relação C/N, lignina/N e teor de polifenóis (Martens, 2000; Hobbie, 2008; Wang et al., 2008). Atualmente, o uso de técnicas espectroscópicas avançadas se mostra ainda mais eficaz para o entendimento da dinâmica de materiais em diferentes estágios de transformação e seu potencial sequestro de C (Bonanomi et al., 2012).

Em geral, as análises necessárias para o conhecimento das características químicas de materiais vegetais são laboriosas, caras e consomem muito tempo do pesquisador. No sentido de minimizar os esforços, o uso da espectroscopia na região do infravermelho próximo (NIRS – *near-infrared spectroscopy*) surge como uma alternativa viável na predição da composição dos materiais em decomposição (McLellan et al., 1991; Gillon & David, 2001; Ono et al., 2008) e susceptibilidade à degradação (Gillon et al., 1999a; Parsons et al., 2011).

Estudos dessa natureza para resíduos de eucalipto ainda carecem de informações, porém o uso do NIRS vem sendo alvo de diversos estudos com espécies do gênero, em relação à predição de propriedades físicas (Hein et al., 2009a; Hein et al., 2009b; Hein et al., 2010) e químicas (Raymond et al., 2001; Baillères et al., 2002; Poke et al. 2004; Sousa et al., 2011) da madeira, servindo como base para seleção de clones em programas de melhoramento genético.

O NIRS é um método rápido, não destrutivo e de baixo custo que caracteriza o material de acordo com sua reflectância em comprimentos de onda que variam de 800 a 2500 nm, produzidos por vibrações nas ligações entre átomos de C, N, H, O, P e S, gerando informações sobre a proporção de cada elemento no material analisado. Devido

a complexidade dos materiais orgânicos, o espectro não apresenta forma e picos distintos, o que impossibilita a interpretação direta. Assim, faz-se necessário o uso da quimiometria, que, por meio de sofisticados modelos estatísticos baseados nas propriedades das amostras determinadas por métodos químicos tradicionais, torna possível extrair informações dos espectros obtidos (Brunet et al., 2007; Chodak, 2008).

Diversas técnicas são aplicadas a fim de se melhorar os ajustes e se obter modelos mais robustos e acurados. Destacam-se as técnicas de pré-processamento espectral, que podem ser divididas em métodos de correção do espalhamento (ou dispersão espectral) e a derivação do espectro, que tende a realçar as diferenças espectrais. Segundo Noord (1994), o uso de técnicas apropriadas tem grande influencia sobre o comportamento do modelo, tendendo a gerar modelos mais parcimoniosos. O autor ressalta que essas técnicas nem sempre melhoram a capacidade preditiva do modelo, mas aumentam sua robustez.

Diante do exposto, o presente estudo teve como objetivos testar a viabilidade do NIRS para predição da composição dos resíduos da colheita de *Eucalyptus* sp. em decomposição e verificar o efeito de diferentes formas de pré-processamento espectral sobre a qualidade dos modelos ajustados.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Localização e caracterização do experimento**

Os dados utilizados no presente estudo foram oriundos de um experimento conduzido em plantações comerciais de eucalipto, em cinco regiões do Extremo Sul da Bahia, denominadas de Central A, Central B, Norte, Oeste e Sul. Os dados climáticos (temperatura e precipitação) foram coletados em estações meteorológicas locais ao longo dos 12 meses de duração do experimento e são apresentados na Figura 1.

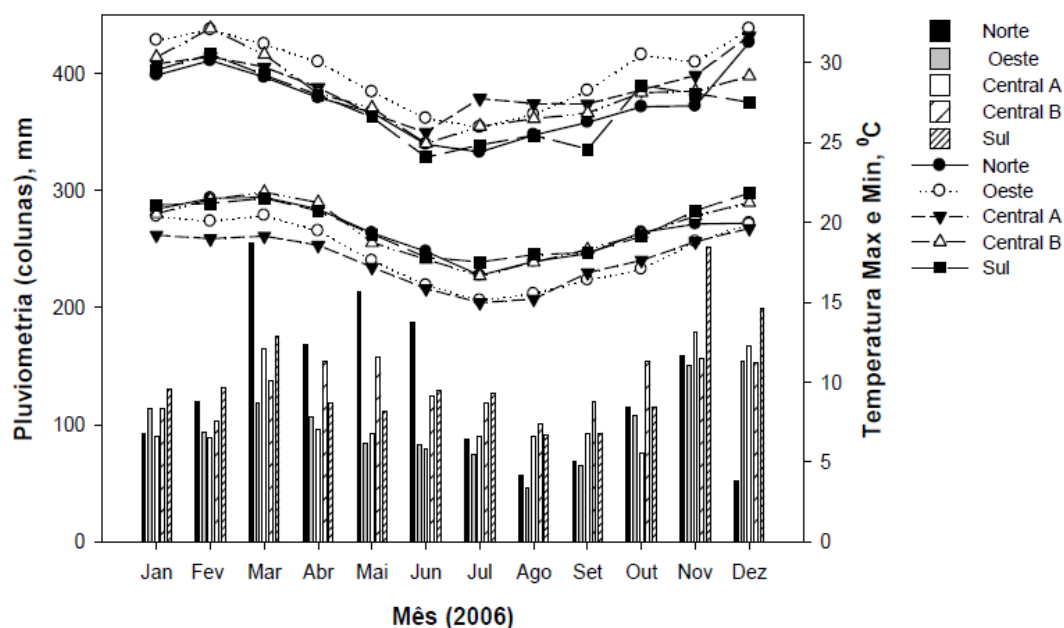


Figura 1 – Precipitação, temperaturas máxima e mínima durante o período do experimento, nas cinco regiões estudadas.

Em cada local foram alocados *litter bags* para avaliação das transformações sofridas pelos resíduos. Os resíduos foram compostos por folhas, galhos e cascas, sendo as folhas e galhos provenientes de um experimento de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* colhido, contendo árvores não fertilizadas e outras submetidas a altas doses de adubação nitrogenada ( $320 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ ), e as cascas oriundas de um povoamento comercial de *E. grandis* recém-colhido.

Os resíduos foram separados, secos em estufas e alocados em *litter bags* de  $20 \times 20$  cm e malha de 2 mm. Os resíduos foram colocados da forma mais similar à encontrada no campo, ou seja, homogeneizados e apenas quebrados para que coubessem nos *litter bags*, de forma a não interferir no processo de decomposição. Cada *litter bag* continha 40 g de resíduo, cujas proporções foram estimadas pelo *software* NUTREECALC®, para árvores com sete anos na região sul da Bahia (Quadro 1).

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), com cinco repetições e os tratamentos arranjados em esquemas de parcelas subdivididas. Os tratamentos aplicados foram: duas composições de resíduos (folha + galho e folha + galho + casca); dois níveis de N (árvores não fertilizadas e fertilizadas com  $320 \text{ kg. ha}^{-1} \text{ N}$ ); e cinco tempos de coleta de material (0, 1, 3, 6 e 12 meses pós-instalação do experimento). Os resultados decorrentes da aplicação desses tratamentos estão apresentados em Silva (2008).

Quadro 1 – Quantidade de matéria seca alocada em cada unidade experimental – UE (*litter bag*), para os tratamentos com e sem casca, e sua equivalência por hectare (ha).

Composição	Folha	Galho	Casca	Total (UE)	Total (ha)
			g UE <sup>-1</sup>		t ha <sup>-1</sup>
Com casca	4,20	11,80	24,00	40,00	23,43
Sem casca	10,60	29,40	-	40,00	23,43

## 2.2 Análise dos resíduos

### 2.2.1 Análises químicas

A caracterização química foi realizada por Silva (2008). Nos referidos tempos de coleta, os componentes dos resíduos foram separados, acondicionados em sacos de papel e levados à estufa (60°C) até obtenção de massa constante. Posteriormente, cada componente foi moído separadamente em moinho tipo Wiley para as caracterizações químicas.

Foram determinados os teores de C (Yeomans & Bremner, 1988), N pelo método de Kjeldhal, lignina insolúvel Klason (Gomide & Demuner, 1986), lignina solúvel (Goldschimid, 1971), extrativos (ABCP, 1974) e holocelulose, por diferença entre os extrativos e lignina insolúvel.

### 2.2.2 NIRS – Espectroscopia do Infravermelho Próximo

#### 2.2.2.1 Preparo de amostras e obtenção do espectro

Para obtenção dos espectros, sub-amostras foram moídas em moinho tipo ciclone (UDY Cyclone Sample Mill, Fort Collins, CO, USA) para obtenção de material de fina granulometria. Após a moagem, as amostras foram levadas a uma sala climatizada, com temperatura e umidade controladas, onde permaneceram por 48 h antes da obtenção dos espectros. Foram utilizadas 308 amostras, entre folhas, galhos e cascas, nos diferentes estágios de decomposição, previamente caracterizadas por Silva (2008). No Quadro 2 podem ser observadas as características das amostras utilizadas.

Quadro 2 – Valores médios, mínimos e máximos, desvio padrão e coeficiente de variação das amostras utilizadas para calibração e validação dos modelos, para cada característica.

<b>Características</b>	<b>Média*</b>	<b>Desvio Padrão*</b>	<b>Mínimo*</b>	<b>Máximo*</b>	<b>CV(%)</b>
<b>C</b>	42,67	5,40	28,94	53,76	12,66
<b>N</b>	0,71	0,68	0,11	2,41	95,78
<b>LigIns</b>	26,24	8,43	11,17	47,10	32,13
<b>LigSol</b>	4,83	2,19	1,67	10,55	45,28
<b>Ext</b>	5,99	6,44	0,29	21,30	107,51
<b>Holo</b>	67,77	14,04	35,75	87,11	20,71

C: Carbono; N: Nitrogênio; LigIns: Lignina Insolúvel Klason; LigSol: Lignina Solúvel; Ext: Extrativos; Holo: Holocelulose; \*valores em  $\text{dag kg}^{-1}$ .

Os espectros foram coletados usando um espectrofotômetro Foss NIRSystem 5000 (Silver Spring, MD, USA), na região do infravermelho próximo entre 1100 e 2500 nm, com 2 nm de intervalo. As amostras foram colocadas em uma cápsula circular de 5 cm de diâmetro, na quantidade suficiente para cobrir toda a janela de quartzo da capsula. As amostras foram fixadas com auxílio de um cartão e introduzidas no suporte do aparelho. O aparelho realiza 32 varreduras de cada amostra e o espectro gerado representa a média dessas 32 varreduras. As amostras foram coletadas em duplicatas e o espectro obtido foi representado pela média das duas repetições como o inverso do logaritmo da reflectância ( $\log [1/R]$ ). A análise dos dados foi feita com o uso do *software* WinISI III – V1.63 (Infrasoft International, LLC, Silver Spring, MD, USA).

#### 2.2.2.2 Calibração e Validação

Alguns métodos de pré-processamento espectral que ajudam a reduzir as diferenças nos espectros devido às características físicas, como o tamanho das partículas e o arranjo entre elas (Barnes et al., 1989, Reeves et al., 2002), foram aplicados a fim de se obter melhores ajustes. Para a escolha do mais adequado para cada conjunto de dados, foram testados os seguintes métodos: sem correção de dispersão (NONE), *Standard Normal Variate (SNV)*, *Standard Normal Variate and Detrend (SNV-D)*, *Detrend only (DET)*, *Standard Multiple Scatter Correction (Std-MSc)*, *Weighted Multiple Scatter Correction (W-MSc)* e *Inverse Multiple Scatter Correction (I-MSc)*.

Em conjunto com o pré-tratamento da dispersão espectral, foram aplicados os tratamentos matemáticos sem derivada e com derivada primeira ou segunda, que visam diminuir as diferenças da linha de base e realçar as características espectrais (Reeves et al., 2002). Assim, foram obtidas 21 combinações de métodos de pré-processamento espectral.

Para cada uma das combinações foi aplicada a análise de componentes principais (PCA) para definir a variabilidade entre os espectros, identificar possíveis amostras anômalas (*outliers*) e selecionar os conjuntos de dados utilizados na calibração e validação. A identificação dos *outliers* foi feita com base na distância Mahalanobis ( $H$ ) (Mark & Tunnell, 1985). Amostras com  $H > 3$  foram consideradas *outliers* e excluídas dos conjuntos de calibração e validação (Shenk & Westerhaus, 1991a).

Após a eliminação dos *outliers* espectrais, foram selecionadas 200 amostras para calibração (aproximadamente 2/3 das amostras) e as restantes (1/3) compuseram o grupo de validação, proporções consideradas satisfatórias de acordo com Reeves et al. (2001). Para o conjunto de calibração foram selecionadas as amostras mais representativas do conjunto de dados, com base na distância euclidiana entre as amostras (método do vizinho mais próximo), procedimento considerado mais adequado do que a simples aleatorização das amostras (Brunet et al., 2007).

Para relacionar os espectros com os valores de C, N, lignina insolúvel Klason, lignina solúvel, extrativos e holocelulose, utilizou-se da regressão modificada dos mínimos quadrados parciais – mPLS (Shenk & Westerhaus, 1991b). Este método combina a análise de PCA com regressões múltiplas e já se mostrou adequado para predição de características de solo (Fystro, 2002; Coûteaux et al., 2003; Brunet et al., 2007).

A fim de se determinar o número de termos ideais no modelo, evitando o chamado *overfitting*, fez-se uso da validação cruzada. O conjunto de calibração foi dividido em quatro grupos, três sendo usados para calibração e um para ser predito. O procedimento foi repetido mais três vezes para que todas as amostras fossem utilizadas para calibração e predição. Os resíduos gerados são reunidos para calcular o erro padrão da validação cruzada (SECV). *Outliers* de calibração foram identificados com base no teste  $t$  de *Student* para variação residual (diferenças entre os valores observados e preditos). Amostras com valor de  $t > 2,5$  foram removidas do conjunto de amostras, e então foi realizada uma nova validação cruzada com as amostras de calibração restantes, assim como descrito em Brunet et al. (2007). O menor SECV determina o número ótimo de termos a serem utilizados para a calibração. O SECV é calculado seguindo a equação:

$$SECV = \sqrt{\frac{1}{n_1 - 1} \sum_{i=1}^{n_1} (x_i - y_i)^2}$$

em que  $x$  é o valor observado e  $y$  é o valor predito da amostra  $i$ , e  $n_1$  é o número total de amostras utilizadas na calibração.

Os modelos que melhor se ajustam aos dados são selecionados com base no valor de seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o valor de relação de desempenho do desvio (RPD), que é definido pela razão entre o desvio padrão pelo método convencional das amostras de calibração e o SECV. Segundo Williams & Sobering (1993), essa estatística torna possível a comparação entre calibrações de diferentes propriedades. Em solos, modelos com valores de RPD  $> 2$  são considerados aceitáveis (Chang et al., 2001). Valores de RPD  $> 2,5$  são recomendados para a aplicação de NIRS em estudos florestais (Schimleck & Evans, 2004), enquanto que modelos com RPD  $> 8$  são considerados excelentes e possibilitam sua aplicação em qualquer situação analítica (Williams, 1996).

Para melhor avaliar os modelos ajustados, realizou-se a validação externa das equações, com as amostras que não participaram da etapa de calibração. Assim, geraram-se as estatísticas de  $R^2$  da validação e erro padrão da predição (SEP), que permitem avaliar a eficiência do modelo na predição de características de amostras desconhecidas. O cálculo do SEP se faz por meio da equação:

$$SEP = \sqrt{\frac{1}{n_2 - 1} \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - y_i - bias)^2}$$

em que  $n_2$  é o número total de amostras utilizadas na validação externa e  $bias$ :

$$bias = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} (x_i - y_i)$$

Os limites adotados para o SEP e  $bias$  foram  $1,3 \times SECV$  e  $0,6 \times SECV$ , respectivamente. Esses valores foram adotados com base no proposto por Shenk et al. (1989).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram observadas grandes variações nas características químicas avaliadas (Quadro 2), o que é ideal para a obtenção de modelos robustos, com grande capacidade de predição. O C foi o que apresentou menor variação (CV = 12,66%), mas ainda assim observa-se uma ampla faixa, com teores variando entre 28,74 e 53,76 dag kg<sup>-1</sup>. Extrativos e N foram as características que apresentaram maior variação (CV = 95,78 e 107,51 %, respectivamente), comportamento esperado, uma vez que são as características com maior variação entre folhas, galhos e cascas, nos diferentes estágios

de decomposição (Silva, 2008). A maior variação do N se justifica também pelos tratamentos aplicados no experimento.

As estatísticas de calibração e validação externa obtidas para as combinações de pré-processamento testadas foram reunidas nos Quadros 3 a 8, para cada característica avaliada neste trabalho.

O uso de vários métodos de pré-processamento para a escolha do mais adequado aos dados é relativamente comum nas calibrações de modelos para NIRS (Ludwig et al., 2002; Coûteaux et al., 2003; Sørensen & Dalsgaard, 2005; Quampah et al., 2012). Geralmente, a escolha da melhor forma de tratar o espectro se dá por análises de tentativa e erro até a obtenção do menor erro padrão da predição (SEP) (Coûteaux et al., 2003; Rinnan et al., 2009). Os métodos testados no presente trabalho são relatados como as formas mais usuais de tratamento de espectros (Rinnan et al., 2009).

Para a predição de C, pôde ser observado que os métodos SNV e SNV-D, sem uso de derivada, apresentaram valores de SEP acima do limite aceitável, mesmo apresentando bons resultados na etapa de calibração (Quadro 3). O menor SEP foi encontrado quando se utilizou o método DET com uso da 1ª derivada. O uso dos espectros originais, sem aplicação de nenhuma transformação ou tratamento matemático (None), gerou resultados muito bons, tanto na etapa de calibração quanto na validação externa. Resultado semelhante foi encontrado por Sørensen & Dalsgaard (2005), na estimativa de teores de C do solo, onde a acurácia dos modelos não foi sensível ao método de pré-processamento espectral utilizado.



Quadro 3 – Resultados da calibração e validação para os teores de C, de acordo com o método de pré-processamento do espectro utilizado.

Transf.	d.	Calibração				Validação		
		$n_1$	SECV	1-VR	RPD	$n_2$	SEP	R <sup>2</sup>
None	-	180	1,75	0,90	3,15	100	1,82	0,86
None	1 <sup>a</sup>	179	1,80	0,89	2,96	97	1,86	0,84
None	2 <sup>a</sup>	179	1,80	0,87	2,78	101	1,89	0,87
SNV	-	182	1,76	0,89	2,98	98	3,09*	0,63
SNV	1 <sup>a</sup>	176	1,64	0,92	3,45	93	2,11	0,73
SNV	2 <sup>a</sup>	192	1,79	0,90	3,15	94	2,06	0,76
SNV-D	-	181	1,66	0,91	3,29	93	2,20*	0,73
SNV-D	1 <sup>a</sup>	173	1,69	0,90	3,11	93	2,03	0,76
SNV-D	2 <sup>a</sup>	192	1,79	0,90	3,15	94	2,05	0,76
DET	-	183	1,67	0,90	3,22	98	1,81	0,85
DET	1 <sup>a</sup>	178	1,84	0,88	2,91	97	1,71	0,86
DET	2 <sup>a</sup>	179	1,80	0,87	2,78	101	1,90	0,87
StdMSC	-	180	1,79	0,89	3,00	94	2,04	0,75
StdMSC	1 <sup>a</sup>	184	1,76	0,90	3,19	94	2,16	0,73
StdMSC	2 <sup>a</sup>	190	1,78	0,90	3,18	95	2,01	0,76
I-MSC	-	177	1,73	0,90	3,10	92	2,14	0,75
I-MSC	1 <sup>a</sup>	180	1,75	0,90	3,13	90	1,80	0,78
I-MSC	2 <sup>a</sup>	189	1,73	0,91	3,27	92	1,98	0,77
W-MSC	-	177	1,76	0,88	2,94	93	1,87	0,81
W-MSC	1 <sup>a</sup>	193	1,97	0,88	2,88	93	1,82	0,81
W-MSC	2 <sup>a</sup>	184	1,67	0,90	3,16	96	2,11	0,79

Transf.: transformação do espectro aplicada; d.: tratamento matemático utilizado (1<sup>a</sup> ou 2<sup>a</sup> derivada);  $n_1$ : número de amostras utilizadas na calibração, após a retirada dos *outliers* de calibração;  $n_2$ : número de amostras utilizadas na validação externa; 1-VR: coeficiente de determinação da validação cruzada; SECV e SEP expressos em  $\text{dag kg}^{-1}$ ; \* indica valores acima do limite aceitável.

O método *Detrend only* (DET), sem uso de derivada, foi considerado o melhor método de pré-processamento do espectro para predição dos teores de C dos resíduos de eucalipto em diferentes estágios de decomposição, por apresentar boas estimativas tanto na etapa de calibração quanto na etapa de validação, e também por apresentar um número relativamente baixo de *outliers* espectrais e de calibração. Este método apresentou  $\text{RPD} = 3,22$  e  $\text{R}^2$  de 0,85. Esses valores foram inferiores aos encontrados por Ludwig et al. (2002) e Coûteaux et al. (2003), para o C do solo, Kleinebecker et al. (2009) e Parsons et al. (2011), para plantas e *litter*, respectivamente, Terhoeven-Urselmans et al. (2006), para solo e *litter*, e superiores aos encontrados por Chang et al. (2001) e Brunet et al. (2007), para solo. O número de amostras utilizadas no presente trabalho foi maior do que as utilizadas em todos esses trabalhos comparados, com

exceção de Chang et al. (2001), o que evidencia a aplicabilidade e robustez do modelo desenvolvido.

Apesar do método SNV com aplicação da 1ª derivada ter resultado nos maiores valores de 1-VR e RPD e o menor SECV (Quadro 3), outros métodos obtiveram melhores valores de SEP e R<sup>2</sup>, evidenciando a importância do uso da validação externa, assim como mencionado em Brown et al. (2005).

Para o N, todas as calibrações obtidas foram consideradas boas (Quadro 4), com valores de RPD considerados excelentes (Williams, 1996). Porém, quando se atenta para os resultados da validação externa, percebe-se que os modelos desenvolvidos com os pré-processamentos None, None 1ªd., SNV e DET 1ªd. tiveram valores de SEP acima dos limites adotados. Os modelos gerados para a predição de N foram os melhores comparados às demais variáveis avaliadas neste trabalho. A grande variabilidade entre as amostras (Quadro 2) pode ter contribuído para a robustez do modelo.

Os melhores modelos desenvolvidos foram resultantes da combinação de algum método de correção da dispersão espectral com o uso da 1ª derivada. Destacam-se SNV, StdMSC, I-MSC e W-MSC. Destes, a combinação de SNV + 1ªd. foi considerada a mais adequada para predição de N, por ter apresentado estatísticas satisfatórias e apresentar boa distribuição de resíduos (Figura 2).

Os resultados aqui obtidos foram similares aos obtidos por Gillon et al. (1999b), com vantagem no valor do RPD. Também, em comparação a outros trabalhos que tentaram prever os teores de N em solos, *litter* e plantas, os valores de RPD no presente trabalho foram superiores, com o uso de um número superior de amostras, o que destaca a capacidade do modelo (Ludwig et al., 2002; Coûteaux et al., 2003; Terhoeven-Urselmans et al., 2006; Brunet et al., 2007; Kleinebecker et al., 2009; Parsons et al., 2011).

Quadro 4 – Resultados da calibração e validação para os teores de N, de acordo com o método de pré-processamento do espectro utilizado.

Transf.	d.	Calibração				Validação		
		$n_1$	SECV	1-VR	RPD	$n_2$	SEP	R <sup>2</sup>
None	-	180	0,06	0,99	10,29	100	0,10*	0,98
None	1 <sup>a</sup>	178	0,05	0,99	13,35	97	0,08*	0,98
None	2 <sup>a</sup>	183	0,06	0,99	11,20	101	0,06	0,99
SNV	-	185	0,07	0,99	10,78	98	0,11*	0,97
SNV	1 <sup>a</sup>	176	0,06	0,99	11,76	93	0,05	0,99
SNV	2 <sup>a</sup>	178	0,06	0,99	11,66	94	0,06	0,98
SNV-D	-	181	0,07	0,99	10,97	93	0,06	0,98
SNV-D	1 <sup>a</sup>	180	0,06	0,99	11,48	93	0,07	0,98
SNV-D	2 <sup>a</sup>	178	0,06	0,99	11,66	94	0,06	0,98
DET	-	185	0,06	0,99	10,63	98	0,08	0,98
DET	1 <sup>a</sup>	185	0,06	0,99	11,22	97	0,08*	0,98
DET	2 <sup>a</sup>	183	0,06	0,99	11,20	101	0,06	0,99
StdMSC	-	176	0,07	0,99	10,51	94	0,07	0,97
StdMSC	1 <sup>a</sup>	176	0,05	0,99	12,91	94	0,06	0,99
StdMSC	2 <sup>a</sup>	181	0,06	0,99	11,43	95	0,06	0,99
I-MSC	-	178	0,06	0,99	11,19	92	0,06	0,98
I-MSC	1 <sup>a</sup>	176	0,05	0,99	13,06	90	0,05	0,98
I-MSC	2 <sup>a</sup>	175	0,06	0,99	12,46	92	0,06	0,98
W-MSC	-	182	0,07	0,99	9,78	93	0,05	0,99
W-MSC	1 <sup>a</sup>	179	0,05	0,99	12,91	93	0,06	0,98
W-MSC	2 <sup>a</sup>	177	0,06	0,99	12,04	96	0,06	0,99

Transf.: transformação do espectro aplicada; d.: tratamento matemático utilizado (1<sup>a</sup> ou 2<sup>a</sup> derivada);  $n_1$ : número de amostras utilizadas na calibração, após a retirada dos *outliers* de calibração;  $n_2$ : número de amostras utilizadas na validação externa; 1-VR: coeficiente de determinação da validação cruzada; SECV e SEP expressos em  $\text{dag kg}^{-1}$ ; \* indica valores acima do limite aceitável.

A relação C/N é um importante indicador da taxa de decomposição de tecidos vegetais aportados ao solo, assim seria útil a sua predição. Apesar dos bons resultados obtidos para os teores de C e N nos resíduos de eucalipto em diferentes estágios de decomposição, não foi possível gerar modelos confiáveis para a predição das transformações dessa relação. Mesmo com bons valores de R<sup>2</sup> (0,76 – 0,84), os valores de SEP obtidos foram superiores aos limites aceitáveis, o que inviabiliza sua utilização (dados não apresentados). Ludwig et al. (2003) encontraram o mesmo problema em seu trabalho com solos florestais. Segundo os autores, esse comportamento estaria relacionado ao acúmulo dos erros individuais de predição de C e N e à grande diversidade dos dados. Terhoeven-Urselmans et al. (2006), por sua vez, encontraram bons resultados na predição da relação C/N em solos e *litter* da Alemanha, Noruega e

Dinamarca. Ressalta-se que a relação C/N das amostras utilizadas por esses autores variava entre 6,71 e 84,10, enquanto que das amostras aqui avaliadas era 18,56 e 427,01, porém com um coeficiente de variação não tão elevado (dados não apresentados).

Em relação à predição dos teores de lignina insolúvel Klason, nota-se que, em comparação às predições de C e N, aumentou o número de modelos com valores acima dos limites aceitáveis (Quadro 5). Em geral, as calibrações foram satisfatórias, com valores de RPD aceitáveis para aplicação em estudos florestais (Schimleck & Evans, 2004). Os melhores modelos resultaram da não aplicação da 1ª ou 2ª derivada, com maior destaque quando se utilizou apenas a transformação SNV-D. Mesmo não apresentando um ótimo valor de  $R^2$  (0,71), apresentou o menor SEP (2,69) e bons resultados de validação cruzada.

No trabalho de Parsons et al. (2011), os melhores resultados para predição da lignina em *litter* foram alcançados com o uso da 1ª derivada. Os resultados aqui obtidos, embora satisfatórios, foram inferiores aos obtidos por Parsons et al. (2011), que trabalhou com uma faixa de variação semelhante, mas com um número inferior de amostras, e Ono et al. (2008), que obtiveram resultados excelentes, mas com um número relativamente pequeno de amostras e com uma variação menor entre elas. Kelley et al (2004), avaliando a predição de lignina Klason em diversas culturas agrícolas, encontraram boas correlações entre os valores preditos e determinados, embora inferiores aos encontrados no presente trabalho.

Trabalhando com um grande número de amostras, provenientes de diversas regiões do Brasil, com grande variabilidade entre elas, Souza et al. (2011) encontraram valores de  $R^2$  e RPD semelhantes aos encontrados neste trabalho quando tentaram predizer os teores de lignina Klason em madeira de *Eucalyptus* spp. aos sete anos de idade. A explicação proposta pelos autores foi que a calibração e validação foram feitas sem a retirada dos *outliers*, o que levou a diferenças de relatos encontrados na literatura para predição deste componente (Yeh et al., 2004; Poke & Raymond, 2006), que conseguiram modelos mais acurados.

No presente estudo, uma característica que pode ter dificultado a predição da lignina Klason em diferentes estágios de decomposição do material é que seu teor não varia tanto ao longo do tempo, uma vez que está negativamente correlacionado com a massa seca remanescente do resíduo (Silva, 2008). Outros trabalhos com decomposição de resíduos da colheita do eucalipto indicam uma preservação seletiva da lignina ao longo da decomposição (Pegoraro et al., 2011).

Quadro 5 – Resultados da calibração e validação para os teores de lignina insolúvel Klason, de acordo com o método de pré-processamento do espectro utilizado.

Transf.	d.	Calibração				Validação		
		$n_1$	SECV	1-VR	RPD	$n_2$	SEP	R <sup>2</sup>
None	-	184	2,95	0,88	2,91	100	2,92	0,84
None	1 <sup>a</sup>	181	2,62	0,91	3,28	97	3,82*	0,68
None	2 <sup>a</sup>	180	2,59	0,91	3,28	101	3,09	0,81
SNV	-	183	2,88	0,89	3,01	98	4,39*	0,69
SNV	1 <sup>a</sup>	176	2,50	0,92	3,50	93	3,72*	0,57
SNV	2 <sup>a</sup>	179	2,65	0,91	3,35	94	3,09	0,68
SNV-D	-	182	2,78	0,91	3,25	93	2,69	0,71
SNV-D	1 <sup>a</sup>	183	2,57	0,92	3,48	93	3,23	0,70
SNV-D	2 <sup>a</sup>	180	2,60	0,92	3,45	94	3,08	0,70
DET	-	183	2,81	0,90	3,09	98	3,06	0,79
DET	1 <sup>a</sup>	187	2,84	0,89	3,02	97	3,70*	0,72
DET	2 <sup>a</sup>	180	2,60	0,91	3,28	101	3,09	0,81
StdMSC	-	175	2,66	0,91	3,33	94	3,07	0,72
StdMSC	1 <sup>a</sup>	181	2,76	0,90	3,18	94	3,62*	0,63
StdMSC	2 <sup>a</sup>	180	2,63	0,91	3,34	95	2,91	0,72
I-MSC	-	182	2,79	0,90	3,19	92	2,84	0,69
I-MSC	1 <sup>a</sup>	182	2,63	0,91	3,39	90	3,32	0,53*
I-MSC	2 <sup>a</sup>	180	2,63	0,91	3,42	92	2,95	0,69
W-MSC	-	187	2,58	0,91	3,39	93	3,25	0,69
W-MSC	1 <sup>a</sup>	184	2,77	0,90	3,22	93	3,08	0,67
W-MSC	2 <sup>a</sup>	177	2,41	0,93	3,74	96	3,21*	0,75

Transf.: transformação do espectro aplicada; d.: tratamento matemático utilizado (1<sup>a</sup> ou 2<sup>a</sup> derivada);  $n_1$ : número de amostras utilizadas na calibração, após a retirada dos *outliers* de calibração;  $n_2$ : número de amostras utilizadas na validação externa; 1-VR: coeficiente de determinação da validação cruzada; SECV e SEP expressos em dag kg<sup>-1</sup>; \* indica valores acima do limite aceitável.

Quadro 6 – Resultados da calibração e validação para os teores de lignina solúvel, de acordo com o método de pré-processamento do espectro utilizado.

Transf.	d.	Calibração				Validação		
		$n_1$	SECV	1-VR	RPD	$n_2$	SEP	R <sup>2</sup>
None	-	180	0,44	0,96	4,84	100	0,56	0,93
None	1 <sup>a</sup>	186	0,41	0,97	5,47	97	0,55*	0,92
None	2 <sup>a</sup>	180	0,39	0,97	5,58	101	0,59*	0,92
SNV	-	181	0,47	0,96	4,78	98	0,65*	0,89
SNV	1 <sup>a</sup>	179	0,43	0,97	5,42	93	0,54	0,91
SNV	2 <sup>a</sup>	185	0,46	0,96	5,23	94	0,54	0,91
SNV-D	-	178	0,45	0,96	5,12	93	0,57	0,90
SNV-D	1 <sup>a</sup>	186	0,42	0,97	5,53	93	0,52	0,93
SNV-D	2 <sup>a</sup>	185	0,46	0,96	5,23	94	0,54	0,91
DET	-	182	0,45	0,96	4,90	98	0,49	0,94
DET	1 <sup>a</sup>	185	0,43	0,96	5,23	97	0,48	0,94
DET	2 <sup>a</sup>	180	0,39	0,97	5,58	101	0,59*	0,92
StdMSC	-	173	0,42	0,97	5,48	94	0,48	0,93
StdMSC	1 <sup>a</sup>	181	0,42	0,97	5,55	94	0,56*	0,91
StdMSC	2 <sup>a</sup>	182	0,43	0,97	5,50	95	0,50	0,92
I-MSC	-	177	0,44	0,96	5,16	92	0,58*	0,90
I-MSC	1 <sup>a</sup>	180	0,38	0,97	6,17	90	0,53*	0,90
I-MSC	2 <sup>a</sup>	182	0,46	0,96	5,07	92	0,51	0,92
W-MSC	-	180	0,41	0,97	5,46	93	0,53	0,92
W-MSC	1 <sup>a</sup>	180	0,39	0,97	5,87	93	0,47	0,93
W-MSC	2 <sup>a</sup>	183	0,41	0,97	5,56	96	0,58*	0,92

Transf.: transformação do espectro aplicada; d.: tratamento matemático utilizado (1<sup>a</sup> ou 2<sup>a</sup> derivada);  $n_1$ : número de amostras utilizadas na calibração, após a retirada dos *outliers* de calibração;  $n_2$ : número de amostras utilizadas na validação externa; 1-VR: coeficiente de determinação da validação cruzada; SECV e SEP expressos em dag kg<sup>-1</sup>; \* indica valores acima do limite aceitável.

Assim como para os modelos desenvolvidos para lignina insolúvel Klason, observa-se para a lignina solúvel um número maior de modelos (oito) com SEP acima do limite aceito (Quadro 6), porém os resultados obtidos para esse componente foram superiores. Os melhores resultados foram obtidos usando-se as variações do método MSC, que teve sua fórmula básica proposta por Martens et al. (1983). Segundo Rinnan et al. (2009), o MSC é o método mundialmente mais utilizado em trabalhos com NIRS.

Os melhores modelos para predição dos teores de lignina solúvel utilizaram os pré-processamentos StdMSC, sem uso de derivada e W-MSC, com 1<sup>a</sup>d., com superioridade para o último. Em comparação a outros trabalhos, os resultados obtidos foram superiores. Na tentativa de predizer os teores de lignina solúvel em ácido em diversas espécies do gênero *Acacia*, Yao et al. (2010) obtiveram modelos aplicáveis, mas com

valores de  $R^2 = 0,67$ . Poke et al. (2004) também obtiveram valores inferiores de  $R^2$  (0,62) quando tentaram prever esse componente em madeira de *Eucalyptus globulus*. Os autores afirmaram que os baixos valores de correlação obtidos foram decorrentes das pequenas variações entre as amostras, o que não aconteceu no presente estudo.

Quadro 7 – Resultados da calibração e validação para os teores de extrativos, de acordo com o método de pré-processamento do espectro utilizado.

Transf.	d.	Calibração				Validação		
		$n_1$	SECV	1-VR	RPD	$n_2$	SEP	$R^2$
None	-	182	0,83	0,98	7,68	100	0,92	0,98
None	1 <sup>a</sup>	182	0,77	0,99	8,47	97	0,90	0,97
None	2 <sup>a</sup>	183	0,81	0,98	7,97	101	0,96	0,97
SNV	-	183	0,82	0,99	8,05	98	1,36*	0,94
SNV	1 <sup>a</sup>	176	0,84	0,98	7,95	93	0,78	0,97
SNV	2 <sup>a</sup>	179	0,79	0,99	8,31	94	0,85	0,97
SNV-D	-	182	0,85	0,98	8,03	93	0,74	0,97
SNV-D	1 <sup>a</sup>	181	0,80	0,99	8,37	93	0,83	0,97
SNV-D	2 <sup>a</sup>	179	0,79	0,99	8,31	94	0,86	0,97
DET	-	184	0,82	0,99	8,11	98	0,86	0,97
DET	1 <sup>a</sup>	186	0,80	0,99	8,22	97	0,93	0,97
DET	2 <sup>a</sup>	183	0,81	0,98	7,97	101	0,95	0,97
StdMSC	-	178	0,85	0,99	8,22	94	0,88	0,96
StdMSC	1 <sup>a</sup>	177	0,83	0,99	8,10	94	0,77	0,97
StdMSC	2 <sup>a</sup>	179	0,82	0,99	8,25	95	0,82	0,97
I-MSC	-	185	0,82	0,99	8,23	92	0,74	0,97
I-MSC	1 <sup>a</sup>	180	0,88	0,98	7,54	90	0,74	0,97
I-MSC	2 <sup>a</sup>	179	0,81	0,99	8,09	92	0,84	0,97
W-MSC	-	184	0,85	0,98	7,98	93	0,85	0,97
W-MSC	1 <sup>a</sup>	179	0,82	0,99	8,22	93	0,82	0,97
W-MSC	2 <sup>a</sup>	182	0,81	0,99	8,08	96	0,93	0,97

Transf.: transformação do espectro aplicada; d.: tratamento matemático utilizado (1<sup>a</sup> ou 2<sup>a</sup> derivada);  $n_1$ : número de amostras utilizadas na calibração, após a retirada dos *outliers* de calibração;  $n_2$ : número de amostras utilizadas na validação externa; 1-VR: coeficiente de determinação da validação cruzada; SECV e SEP expressos em  $\text{dag kg}^{-1}$ ; \* indica valores acima do limite aceitável.

Observando o Quadro 7, que apresenta os resultados referentes às calibrações e validações de modelos para estimativa de extrativos nos resíduos de eucalipto, notam-se bons resultados nas duas etapas. Apenas um modelo teve valor acima dos limites aceitáveis. O tratamento espectral que mais se destacou para esse componente foi a aplicação apenas da 1<sup>a</sup> derivada (None 1<sup>a</sup>d.). Apesar de outros modelos apresentarem menores valores de SEP, quando se plota os valores observados em função dos preditos,

esse tratamento foi o que apresentou melhor distribuição dos pontos (Figura 2). Por exemplo, apesar da transformação do espectro por I-MSC resultar no menor valor de SEP, o modelo gerado com essa transformação apresentou uma pequena superestimação das amostras com teores de extrativos mais elevados (dados não apresentados).

A robustez dos modelos gerados para predição dos extrativos só foi inferior aos gerados para N (Quadros 4 e 7). Avaliando o desempenho dos modelos desenvolvidos para predição de extrativos em *E. globulus*, Poke et al. (2004) encontraram resultados semelhantes na calibração dos modelos, porém os resultados da validação externa foram inferiores ( $R^2 = 0,84$ ) aos encontrados no presente trabalho. Poke & Raymond (2006) e Baillères et al. (2002), em trabalhos com *E. globulus* e *E. urophylla* x *E. grandis*, respectivamente, também encontraram valores de  $R^2$  e RPD inferiores.

Baillères et al. (2002) afirmaram que o desempenho dos modelos gerados poderiam ser melhorados se fossem melhoradas as técnicas de seleção de amostras para calibração, uma vez que no estudo em questão, as amostras foram selecionadas aleatoriamente. Como foram selecionadas as amostras mais representativas do conjunto de dados, como proposto por Brunet et al. (2007), credita-se a este fato o maior sucesso no desenvolvimento dos modelos de predição de extrativos.

O uso do NIRS para predição de celulose já foi avaliado em diversos trabalhos, uma vez que é o constituinte da madeira de maior interesse comercial para as indústrias de celulose e papel, e em grande parte desses obteve-se sucesso (Raymond & Schimleck, 2002; Schimleck et al., 2004; Yeh et al., 2005; Poke & Raymond, 2006). Os estudos em ensaios de decomposição se justificam pela holocelulose (celulose + hemicelulose) ser basicamente composta por polissacarídeos e assim prover a maior fonte de energia para os processos microbianos no solo. Nesta linha, e com uso do NIRS, destacam-se os trabalhos de McLellan et al. (1991), Ono et al. (2003) e Parsons et al. (2011).



Quadro 8 – Resultados da calibração e validação para os teores de holocelulose, de acordo com o método de pré-processamento do espectro utilizado.

Transf.	d.	Calibração				Validação		
		$n_1$	SECV	1-VR	RPD	$n_2$	SEP	R <sup>2</sup>
None	-	182	3,12	0,95	4,63	100	3,18	0,94
None	1 <sup>a</sup>	188	2,86	0,96	5,16	97	3,96*	0,88
None	2 <sup>a</sup>	181	3,05	0,96	4,87	101	3,58	0,92
SNV	-	186	2,94	0,96	5,09	98	4,12*	0,88
SNV	1 <sup>a</sup>	188	2,79	0,97	5,33	93	3,70*	0,86
SNV	2 <sup>a</sup>	183	2,97	0,96	5,06	94	3,08	0,90
SNV-D	-	177	2,89	0,97	5,36	93	2,98	0,88
SNV-D	1 <sup>a</sup>	179	2,80	0,97	5,38	93	3,27	0,90
SNV-D	2 <sup>a</sup>	184	2,96	0,96	5,07	94	3,09	0,90
DET	-	183	3,06	0,96	4,85	98	3,13	0,92
DET	1 <sup>a</sup>	181	2,70	0,97	5,47	97	3,98*	0,89
DET	2 <sup>a</sup>	181	3,05	0,96	4,87	101	3,58	0,92
StdMSC	-	175	2,73	0,97	5,62	94	3,51	0,87
StdMSC	1 <sup>a</sup>	181	2,59	0,97	5,75	94	3,72*	0,87
StdMSC	2 <sup>a</sup>	178	3,05	0,96	5,03	95	3,04	0,90
I-MSC	-	180	2,83	0,97	5,47	92	3,11	0,88
I-MSC	1 <sup>a</sup>	182	2,81	0,97	5,47	90	3,46	0,83
I-MSC	2 <sup>a</sup>	181	2,97	0,96	5,12	92	3,00	0,89
W-MSC	-	182	2,72	0,97	5,58	93	3,53	0,88
W-MSC	1 <sup>a</sup>	177	3,00	0,96	5,08	93	3,44	0,87
W-MSC	2 <sup>a</sup>	183	2,78	0,97	5,41	96	3,09	0,92

Transf.: transformação do espectro aplicada; d.: tratamento matemático utilizado (1<sup>a</sup> ou 2<sup>a</sup> derivada);  $n_1$ : número de amostras utilizadas na calibração, após a retirada dos *outliers* de calibração;  $n_2$ : número de amostras utilizadas na validação externa; 1-VR: coeficiente de determinação da validação cruzada; SECV e SEP expressos em dag kg<sup>-1</sup>; \* indica valores acima do limite aceitável.

O uso do método StdMSC 1<sup>a</sup>d. produziu os melhores resultados de calibração, porém não foi bem na validação externa. Assim como nos modelos de predição de lignina, tanto solúvel quanto insolúvel, observa-se um maior número de modelos (cinco) com valores de SEP encontrados acima do limite adotado. Entretanto, diversos outros modelos desenvolvidos mostraram-se viáveis para predição dos teores de holocelulose (Quadro 8). Destes, sobressaiu o modelo que utilizou da correção do espalhamento pelo método SNV-D, sem uso de derivada, que apesar de não possuir o maior R<sup>2</sup> (0,88), apresentou o menor valor de SEP (2,98). Os resultados encontrados estão de acordo com os valores encontrados na literatura, sendo encontrados resultados inferiores (Ono et al., 2003; Andrade et al., 2010; Andrade, 2011) e superiores (Hou & Li, 2011).

Para auxiliar na seleção dos melhores modelos, os valores preditos foram plotados em função dos valores observados, a fim de se avaliar a distribuição dos pontos e observar uma possível tendência de sub ou superestimação de alguma variável. A distribuição dos pontos de todos os modelos ajustados foi analisada, mas são apresentados apenas os considerados melhores para cada variável analisada (Figura 2).

Observa-se boa distribuição dos pontos para todas as características. Pontos acima das linhas de referência indicam amostras que tiveram seus valores superestimados, enquanto que os pontos localizados abaixo mostram amostras subestimadas. Como os pontos estão igualmente distribuídos, pode-se afirmar que nenhum modelo apresentou tendência de sub ou superestimar os valores, em média, o que evidencia os bons ajustes encontrados. Alguma subestimativa dos teores de holocelulose pôde ser verificada para as amostras que tinham menores proporções (45 - 55%) deste componente, mas o número de amostras foi pequeno e não influenciou o desempenho do modelo, sendo tratado como um comportamento isolado.

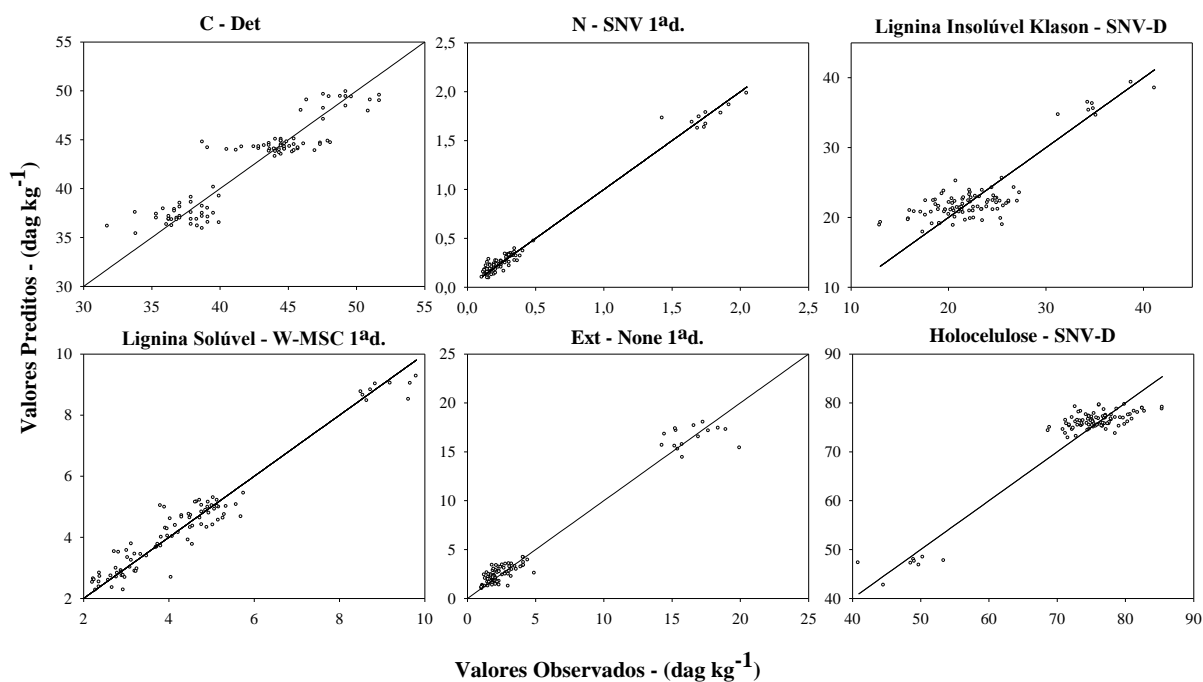


Figura 2 – Comparação entre os valores observados e valores preditos para as amostras utilizadas na validação externa, para cada componente. As linhas indicam 1:1.

Analisando os Quadros 3 a 8 apresentados, observa-se que o método de pré-processamento espectral SNV, apesar de ser largamente utilizado (Rinnan et al., 2009), sem aplicação de derivada, produziu valores de SEP acima dos limites aceitáveis adotados, em todos os compostos avaliados neste trabalho, o que inviabiliza sua utilização. Ressalta-se que seu uso, combinado com a 1ª derivada, foi o mais eficiente

para predição de N e gerou o maior valor de RPD, quando se compara os melhores modelos considerados, para cada composto.

Segundo Williams & Sobering (1993) o uso do RPD possibilita a comparação entre calibrações de diferentes propriedades, por ser adimensional e levar em conta a grandeza das variações de cada atributo. Portanto, dentre esses modelos considerados melhores, o gerado para o N foi o mais eficiente, pois produziu os maiores valores de RPD, na calibração, e  $R^2$ , na validação.

Na tentativa de tornar o uso do NIRS ainda mais simples, tentou-se utilizar apenas uma forma de pré-tratamento do espectro para prever todas as características dos resíduos avaliadas. Isso só foi possível porque diversos modelos apresentaram bons resultados, em todos os componentes. As possíveis perdas de precisão e acurácia seriam compensadas pelos menores custos, economia de tempo e facilidade de operação, uma vez que menos amostras necessitariam ser determinadas quimicamente, pois só seria feita uma aplicação da PCA para seleção de amostras de calibração e validação.

Dentre as 21 combinações avaliadas, nove tiveram todos os seus resultados dentro dos limites adotados e foram comparadas. Foram os que utilizaram os seguintes métodos de pré-processamento espectral: SNV 2<sup>a</sup>d., SNV-D 1<sup>a</sup>d., SNV-D 2<sup>a</sup>d., StdMSC, StdMSC 2<sup>a</sup>d., W-MSC, W-MSC 1<sup>a</sup>d., I-MSC 2<sup>a</sup>d., DET. Destes, os tratamentos que utilizaram da aplicação da 2<sup>a</sup> derivada (2<sup>a</sup>d.) se mostraram superiores. E dentre estes, o método StdMSC 2<sup>a</sup>d. apresentou os menores erro padrão da validação cruzada e predição, e maiores valores de  $R^2$  e RPD, ou seja, bons resultados para todas as características, sendo identificado como a melhor forma de pré-processamento do espectro, apesar de não ter sido selecionado como o melhor método para nenhum componente quando analisados individualmente.

Também, plotou-se a distribuição dos valores preditos e observados, a fim de verificar alguma tendência indesejável na predição, o que não foi constatado (Figura 3). Pode ser observada uma pequena superestimativa dos teores de N, em amostras com maior concentração deste elemento. Mas acredita-se que este fato foi independente e se destacou pelo menor número de amostras nessas concentrações, uma vez que o número de amostras foi pequeno (sete) e outras amostras com concentrações semelhantes tiveram boas predições.

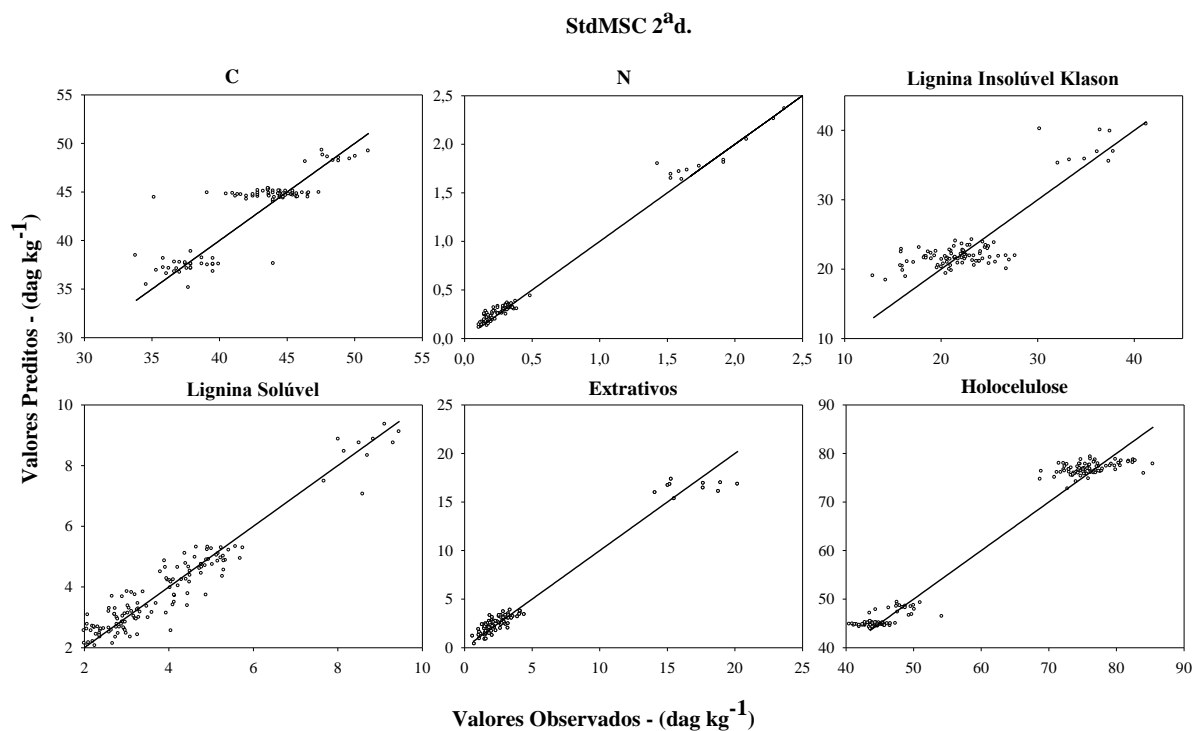


Figura 3 - Comparação entre os valores observados e valores preditos no tratamento espectral StdMSC 2<sup>a</sup>d. para as amostras utilizadas na validação externa, para cada componente. As linhas indicam 1:1.

Assim, pode-se afirmar que é viável a utilização de apenas uma forma de pré-processamento espectral para a predição, com boa confiabilidade, das transformações sofridas pelos resíduos da colheita de *Eucalyptus* sp., apesar da menor precisão do que quando se utiliza uma forma para cada componente. Isso ocorre porque as modificações em cada componente acontecem em diferentes taxas e nem todos acompanham a perda de massa do resíduo (Silva, 2008). Apesar disso, o modelo ajustado foi robusto o suficiente e se adequou a essas mudanças. Outros trabalhos realizados obtiveram o mesmo resultado (McLellan et al., 1991; Gillon et al., 1999a; Gillon et al., 1999b; Gillon & David, 2001; Bruun et al., 2005; Parsons et al., 2011), embora trabalhando com um número menor de variáveis, com exceção de Parsons et al. (2011).

Como as mudanças ocorridas nos resíduos ao longo do tempo não diferiram entre as regiões estudadas (Silva, 2008), apesar das diferenças climáticas entre elas, acredita-se que os modelos ajustados possam ser eficientes na predição das alterações sofridas pelos resíduos em diferentes locais, mas isso ainda carece de investigação. Tentativa semelhante foi realizada por Schimleck et al. (2006) com relativo sucesso para predição do rendimento em polpa celulósica para diferentes locais e espécies a partir de um robusto modelo ajustado com *E.nitens* proveniente da Tasmânia.

#### 4. CONCLUSÕES

- É viável a utilização da espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS) para predição das transformações sofridas pelos resíduos da colheita de *Eucalyptus* sp.;
- O uso de diferentes formas de pré-processamento do espectro afeta a capacidade de predição do modelo, sendo possível a utilização de apenas uma forma de tratamento espectral para predizer, com boa confiabilidade, a transformação das características avaliadas no presente estudo.

#### 5. REFERÊNCIAS

- ANDRADE, C.R. Calibrações por meio da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo para teor de extrativos totais, de lignina total e holocelulose usando espectros obtidos na madeira sólida. *Ambiência*, 7:39-49, 2011.
- ANDRADE, C.R.; TRUGILHO, P.F.; NAPOLI, A.; QUINHONES, R.; LIMA, J.T. Calibrações NIRS para três propriedades químicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Cerne*, Suplemento, 16:9-14, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL - ABTCP. Normas técnicas ABCP. São Paulo, ABTCP, 1974.
- BAILLÈRES, H.; DAVRIEUX, F.; HAM-PICHAVANT, F. Near infrared analysis as a tool for rapid screening of some major wood characteristics in a eucalyptus breeding program. *Ann. For. Sci.*, 59:479-790, 2002.
- BARNES, R.J.; DHANOA, M.S.; LISTER, S.J. Standard normal variate transformation and detrending of near-infrared diffuse reflectance spectra. *Appl. Spectrosc.* 43, 772-777, 1989.
- BERG, B. Litter decomposition and organic matter turnover in northern forest soils. *For. Ecol. Manag.*, 133:13-22, 2000.
- BONANOMI, G.; INCERTI, G.; GIANNINO, F.; MINGO, A.; LANZOTTI, V.; MAZZOLENI, S. Litter quality assessed by solid state <sup>13</sup>C NMR spectroscopy predicts decay rate better than C/N and Lignin/N ratios. *Soil Biol. Biochem.*, 2012. (*in press*).
- BROWN, D.J.; BRICKLEMYER, R.S.; MILLER, P.R. Validation requirements for diffuse reflectance soil characterization models with a case study of VNIR soil C prediction in Montana. *Geoderma*, 129:251-267, 2005.
- BRUNET, D.; BARTHÈS, B.G.; CHOTTE, J.L.; FELLER, C. Determination of carbon and nitrogen contents in Alfisols, Oxisols and Ultisols from Africa and Brazil using NIRS analysis: Effects of sample grinding and set heterogeneity. *Geoderma*, 139:106-117, 2007.
- BRUUN, S.; STENBERG, B.; BRELAND, T.A.; GUDMUNDSSON, J.; HENRIKSEN, T.M.; JESEN L.S.; KORÆTH, A.; LUXHØI, J.; PÁLMASON, F.; PEDERSEN A.; SALO, T. Empirical predictions of plant material C and N mineralization patterns from near infrared spectroscopy, stepwise chemical digestion and C/N ratios. *Soil Biol. Biochem.*, 37:2283-2296, 2005.

- CHANG, C.W.; LAIRD, D.A.; MAUSBACH, M.J.; HURBURGH, C.R.J. Nearinfrared reflectance spectroscopy-principal components regression analyses of soil properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:480-490, 2001.
- CHODAK, M. Application of near infrared spectroscopy for analysis of soils, litter and plant materials. *Polish J. of Environ. Stud.*, 17:631-642, 2008.
- COÛTEAUX, M.M.; BERG, B.; ROVIRA, P. Near infrared reflectance spectroscopy for determination of organic matter fractions including microbial biomass in coniferous forest soils. *Soil Biol. Biochem.*, 35:1587-1600, 2003.
- FYSTRO, G. The prediction of C and N content and their potential mineralisation in heterogeneous soil samples using Vis-NIR spectroscopy and comparative methods. *Plant Soil*, 246:139-149, 2002.
- GILLON, D.; DAVID, J.F. The use of near infrared reflectance spectroscopy to study chemical changes in the leaf litter consumed by saprophagous invertebrates. *Soil Biol. Biochem.*, 33:2159-2161, 2001.
- GILLON, D.; JOFFRE, R.; IBRAHIMA, A. Can litter decomposability be predicted by near infrared reflectance spectroscopy. *Ecology*, 80:175-186, 1999a.
- GILLON, D.; HOUSSARD, C.; JOFFRE, R. Using near-infrared reflectance spectroscopy to predict carbon, nitrogen and phosphorus content in heterogeneous plant material. *Oecologia*, 118:173-182, 1999b.
- GOLDSCHMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. Lignins: occurrence, formation, structure and reactions. New York: J. Wiley, p. 241-266, 1971.
- GOMIDE, J.L.; DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. *O Papel*, 47:36-38, 1986.
- HEIN, P.R.G.; CAMPOS, A.C.M.; TRUGILHO, P.F.; LIMA, J.T.; CHAIX, G. Near infrared spectroscopy for estimating wood basic density in *Eucalyptus urophylla* and *Eucalyptus grandis*. *Cerne*, 15:133-141, 2009a.
- HEIN, P. R. G.; LIMA, J. T.; CHAIX, G. Robustness of models based on near infrared spectra to predict the basic density in *Eucalyptus urophylla* wood. *J. Near Infrared Spec.*, 17, 141-150, 2009b.
- HEIN, P.R.G.; LIMA, J.T.; CHAIX, G. Otimização de calibrações baseadas em espectroscopia no infravermelho próximo para estimativa de propriedades da madeira de *Eucalyptus*. *Floresta*, 40:615-624, 2010.
- HOBBIE, S.E. Nitrogen effects on decomposition: a five-year experiment in eight temperate sites. *Ecology*, 89:2633-2644, 2008.
- HOU, S.; LI, L. Rapid Characterization of Woody Biomass Digestibility and Chemical Composition Using Near-infrared Spectroscopy. *J. Int. Plant Biol*, 53:166-175, 2011.
- JANZEN, H.H. Carbon cycling in earth systems – a soil science perspective. *Agric. Ecosys. Environ.*, 104:399-417, 2004.
- KELLEY, S.S.; ROWELL, R.M.; DAVIS, M.; JURICH, C.K.; IBACH, R. Rapid analysis of the chemical composition of agricultural fibers using near infrared spectroscopy and pyrolysis molecular beam mass spectrometry. *Biomass Bioenergy*, 27:77-88, 2004.

KLEINEBECKER, T.; SCHMIDT, S.R.; FRITZ, C.; SMOLDERS, A.J.P.; HÖLZEL, N. Prediction of  $\delta^{13}\text{C}$  and  $\delta^{15}\text{N}$  in plant tissues with near-infrared reflectance spectroscopy. *New Phytologist*, 184:732-739, 2009.

LAL, R. Forest soils and carbon sequestration. *For. Ecol. Manag.*, 220:242-258, 2005.

LUDWIG, B.; KHANNA, P.K.; BAUHUS, J.; HOPMANS, P. Near infrared spectroscopy of forest soils to determine chemical and biological properties related to soil sustainability. *For. Ecol. Manag.*, 171:121-132, 2002.

MARK, H.L.; TUNNELL, D. Qualitative near-infrared reflectance analysis. *Anal. Chem.* 58:379-384, 1985.

MARTENS, H.; JENSEN, S.A.; GELADI, P. Multivariate linearity transformations for near infrared reflectance spectroscopy, in: O.H.J. Christie (Editor), *Proc. Nordic Symp. Applied Statistics*, Stokkland Forlag, Stavanger, Norway, p. 205-234, 1983.

MARTENS, D.A. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. Biochem.*, 32:361-369, 2000.

MCLELLAN, T.M.; ABER, J.D.; MARTIN, M.E.; MELILLO, J.M.; NADELHOFFER, K.J. Determination of nitrogen, lignin, and cellulose content in decomposing leaf material by near infrared reflectance spectroscopy. *Can. J. For. Res.*, 21:1684-1688, 1991.

NOORD, O.E. The influence of data preprocessing on the robustness and parsimony of multivariate calibration models. *Chem. Intel. Lab. Sys.*, 23:65-70, 1994.

ONO, K.; HIRAIDE, M.; AMARI, M.; Determination of lignin, holocellulose, and organic solvent extractives in fresh leaf, litterfall, and organic material on forest floor using near-infrared reflectance spectroscopy. *J. For. Res.*, 8:191-198, 2003.

ONO, K.; MIKI, K.; AMARI, M.; HIRAI, K. Near-infrared reflectance spectroscopy for the determination of lignin-derived compounds in the decomposed and humified litters of coniferous and deciduous temperate forests in Northern Kanto District, Central Japan. *Soil Sci. Plant Nut.*, 54:188-196, 2008.

PARSONS, S.A.; LAWLER, I.R.; CONGDON, R.A.; WILLIAMS, S.E. Rainforest litter quality and chemical controls on leaf decomposition with near-infrared spectrometry. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 174:710-720, 2011.

PEGORARO, R.F.; SILVA, I.R.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; FONSECA, S. Fenóis derivados da lignina, carboidratos e aminoácidos em serapilheira e solos cultivados com eucalipto e pastagem. *R. Árvore*, 35:359-370, 2011.

POKE, F.S.; RAYMOND, C. A. Predicting Extractives, Lignin, and Cellulose Contents Using Near Infrared Spectroscopy on Solid Wood in *Eucalyptus globulus*. *J. Wood Chem. Technol.*, 26(2):187-199, 2006.

POKE, F.S.; WRIGHT, J.K.; RAYMOND, C.A. Predicting extractives and lignin contents in *Eucalyptus globulus* using near infrared reflectance analysis. *J. Wood Chem. Technol.* 24(1):55-67, 2004.

QUAMPAH, A.; HUANG, Z.R.; WU, J.G.; LIU, H.Y.; LI, J.R.; ZHU, S.J.; SHI, C.H. Estimation of Oil Content and Fatty Acid Composition in Cottonseed Kernel Powder Using Near Infrared Reflectance Spectroscopy. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 89:567-575, 2012

- RAYMOND, C.A.; SCHIMLECK, L.R. Development of near infrared reflectance analysis calibrations for estimating genetic parameters for cellulose content in *Eucalyptus globulus*. Can. J. For. Res., 32:170–176, 2002.
- RAYMOND, C.A.; SCHIMLECK, L.R.; MUNERI, A.; MICHELL, A.J. Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties. III. Predicted pulp yield using near infrared reflectance analysis. Wood Sci. Technol., 35:203-215, 2001.
- REEVES III, J.B.; MCCARTY, G.W.; REEVES, V.B. Mid-infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy for the Quantitative Analysis of Agricultural Soils. J. Agric. Food Chem., 49:766-772, 2001.
- REEVES III, J.B.; MCCARTY, G.W.; MIMMO, T. The potential of diffuse reflectance spectroscopy for the determination of carbon inventories in soils. Environ. Pollut., 116:277–284. 2002.
- RINNAN, A.; BERG, F. van den; ENGELSEN, S.B. Review of the most common pre-processing techniques for near-infrared spectra. T. Anal. Chem., 28:1201-1222, 2009.
- SCHIMLECK, L.R.; EVANS, R. Estimation of *Pinus radiata* D. Don tracheid morphological characteristics by near infrared spectroscopy. Holzforschung, 58:66-73, 2004.
- SCHIMLECK, L. R.; KUBE, P. D.; RAYMOND, C. A. Genetic improvement of kraft pulp yield in *Eucalyptus nitens* using cellulose content determined by near infrared spectroscopy. Can. J. For. Res., 34:363-2370, 2004.
- SCHIMLECK, L.R.; KUBE, P.D.; RAYMOND, C.A.; MICHELL, A.J.; FRENCH, J. Extending near infrared reflectance (NIR) pulp yield calibrations to new sites and species. J. Wood Chem. Technol., 26:299-311, 2006.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O.; ABRAMS, S.M. Protocol for NIR calibrations: monitoring analysis results and recalibration. In: MARTENS, G.C.; SHENK, J.S.; BARTON, F.E. II (Eds.), Near Infrared Spectroscopy (NIRS): Analysis of Forage Quality. Agriculture Handbook, n.643, USDA-ARS. US Government Printing Office, Washington, DC, p.104–110, 1989.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O. Population definition, sample selection and calibration procedures for near infrared reflectance spectroscopy. Crop Sci., 31:469–474, 1991a.
- SHENK, J.S.; WESTERHAUS, M.O. Population structuring of near infrared spectra and modified partial least square regression. Crop Sci., 31:1548–1555, 1991b.
- SILVA, E.F. Frações da matéria orgânica e decomposição de resíduos da colheita de eucalipto em solos de tabuleiros costeiros da Bahia. Universidade Federal de Viçosa, 2008. 110p. (Tese de Doutorado).
- SØRENSEN, L.K.; DALSGAARD, S. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. Soil Sci. Soc. Am. J., 69:159–167, 2005.
- SOUZA, L.C.; GOMIDE, J.L.; MILAGRES, F.R.; ALMEIDA, D.P. Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das análises de madeiras de *Eucalyptus* spp. Ci. Flor., 21:591-599, 2011.
- TERHOEVEN-URSELMANS, T.; MICHEL, K.; HELFRICH, M.; FLESSA, H.; LUDWIG, B. Near-infrared spectroscopy can predict the composition of organic matter in soil and litter. J. Plant Nutr. Soil Sci., 169:168-174, 2006.



- YAO, S.; WU, G.; XING, M.; ZHOU, S.; PU, J. Determination of lignin content in *Acacia* spp. using near-infrared reflectance spectroscopy. *BioResources*, 5:556-562, 2010.
- YEH, T.; CHANG, H.; KADLA, J. F. Rapid prediction of solid wood lignin content using transmittance Near-Infrared Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.*, 52:1435-1439, 2004.
- YEH, T.G.; YAMADA, T.; CAPANEMA, E.; CHANG, H.M.; CHIANG, V.; KADLA, J.F. Rapid Screening of Wood Chemical Component Variations Using Transmittance Near-Infrared Spectroscopy. *J. Agric. Food Chem.* 53:3328-3332, 2005.
- YEOMANS, J.C.; BREMNER, J.M. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 13:1467-1476, 1988.
- WANG, Q.; WANG, S.; HUANG, Y.U. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and mixed stand in southern China. *For. Ecol. Manag.*, 225: 1210-1218, 2008.
- WILLIAMS, P.C. Recent advances in near-infrared applications for the agriculture and food industries. *Proceedings of the 12th Symposium on Non-Destructive Evaluation Techniques*, 20–22 November, 1996, Tsukuba, Japan, p. 1–11, 1996.
- WILLIAMS, P.C.; SOBERING, D.C. Comparison of commercial near infrared transmittance and reflectance instruments for analysis of whole grains and seeds. *J. Near Infrared Spec.*, 1:25-33, 1993.

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A liberação de nutrientes ocorre em taxas diferentes nos diferentes locais avaliados. O uso de diferentes formas de manejo pode ajudar a compatibilizar as taxas de liberação com a necessidade do eucalipto, aumentando sua eficiência. Os manejos têm efeitos semelhantes em todos os locais, contudo sua magnitude pode apresentar variações, sendo interessante sua observação de caso pra caso. Também, os nutrientes apresentam taxas de liberação distintas, o que mostra a necessidade de se adequar as práticas de adubação utilizadas, para que a demanda do povoamento seja suprida nos estágios apropriados. Espera-se que os resultados obtidos nesse estudo auxiliem na tomada de decisão sobre a melhor forma de manejar os resíduos da colheita do eucalipto

O uso da espectroscopia do infravermelho próximo se mostrou viável para predição da composição química de resíduos de eucalipto em decomposição. À medida que se avançam os conhecimentos sobre a técnica, resultados ainda mais acurados podem ser encontrados, possibilitando avanços no método e, principalmente, no entendimento dos processos de decomposição, uma vez que a etapa de caracterização química, um dos entraves desse conhecimento, é feita por análises caras, complicadas e demoradas, pode se tornar mais simples.