

HELTON MAYCON LOURENÇO

**DIAGNOSE NUTRICIONAL DE EUCALIPTO E IMPACTO DA
DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NUTRIENTES NOS ESTOQUES
DE CARBONO DO POVOAMENTO**

Tese 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 *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2012

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

T

L892d
2012

Lourenço, Helton Maycon, 1981-

Diagnose nutricional de eucalipto e impacto da disponibilidade de água e nutrientes nos estoques de carbono do povoamento / Helton Maycon Lourenço. – Viçosa, MG, 2012.
xiv, 113f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Eucalipto - Nutrição. 2. Carbono - Isotopos. 3. Irrigação.
4. Análise foliar. 5. Ecofisiologia vegetal. 6. Estimativa de parâmetros. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

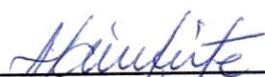
CDD 22. ed. 634.973766

HELTON MAYCON LOURENÇO

**DIAGNOSE NUTRICIONAL DE EUCALIPTO E IMPACTO DA
DISPONIBILIDADE DE ÁGUA E NUTRIENTES NOS ESTOQUES DE
CARBONO DO POVOAMENTO**

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

APROVADA: 02 de julho de 2012.



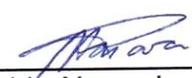
Helio Garcia Leite
(Coorientador)



Ivo Ribeiro da Silva
(Coorientador)



Lafayete Gonçalves C. Martins



Haroldo Nogueira de Paiva



Júlio César Lima Neves
(Orientador)

A meus pais Mateus e Malvireni
Meus irmãos Edivânia e Rodrigo

Dedico com carinho

A minha amada Michelle

Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e pela pessoa que sou.

A Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Solos, minha segunda casa, por todas as oportunidades a mim oferecidas.

Ao povo brasileiro, que com seu trabalho e impostos permitiu ao CNPq o fornecimento da bolsa de estudos.

Ao Prof. Júlio César Lima Neves, meu orientador desde a época de graduação, um agradecimento especial por todos os valiosos ensinamentos, profissionais e pessoais, nesses quase 10 anos de convivência diária. Muito do profissional que sou hoje devo ao senhor, meu muito obrigado.

Ao Prof. Victor Hugo Alvarez V., pelo exemplo de que ciência se faz com simplicidade e amor pelo trabalho, meu muito obrigado.

Ao Prof. Ivo Ribeiro da Silva, pela amizade, as longas conversas e os valiosos ensinamentos em Matéria Orgânica do Solo.

Aos Prof. Nairam Félix de Barros e Roberto de Ferreira Novais, por toda a sua contribuição na minha formação em fertilidade e manejo de solos florestais.

Ao Prof. Hélio Garcia Leite, pelo tratamento sempre distinto, pelos ensinamentos em manejo florestal e todas as valiosas contribuições que muito enriqueceram este trabalho.

Aos colegas de trabalho, Rafael, Arthur, Karina, Daniela, Leonardo, Lígia e Sézar, pela calorosa recepção na Gerência de Tecnologia Florestal de Veracel Celulose S.A. desde minha chegada.

A Veracel Celulose S.A., em especial a pessoa do Dr. Sérgio Ricardo Silva, pela liberação dos bancos de dados, por ele construídos, sem os quais este trabalho não seria possível e também pelas valiosas sugestões na elaboração deste trabalho.

Aos grandes amigos de todas as horas André, Luiza, Alice, Guilherme, Miriam, Dalton, Jarbas, Patrícia, Fernando, David, Bárbara, Dalila, Elaine, por fazerem meus momentos em Viçosa além de agradáveis, inesquecíveis.

Aos grandes amigos do Departamento de Solos, Ivan, Pacheco, Gigi, Fernanda, Diogo, Henrique, Leonardus, pela grande amizade de vocês.

A todos os professores do Departamento de Solos, por todos os exemplos e conhecimentos.

Aos funcionários do DPS, por sempre atenderem nossos pedidos.

A minha amada Michelle, por todo o seu amor e por acreditar em mim em todos esses anos juntos. Obrigado por completar minha vida.

BIOGRAFIA

HELTON MAYCON LOURENÇO, filho de Mateus Merlin Lourenço e Malvireni Speroto Lourenço, nasceu em Nova Venécia – ES, no dia 22 de agosto de 1981.

Em Fevereiro de 2000, ingressou no curso de Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa colando grau em Outubro de 2006.

Em Março de 2007 ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos da UFV, defendendo sua dissertação em Fevereiro de 2009.

Em Março do mesmo ano, iniciou o curso de Doutorado na mesma instituição. Em Abril de 2011 foi contratado pela Veracel Celulose S.A. como pesquisador da área de Solos, Nutrição e Manejo Florestal. Em Julho de 2012 submeteu-se a defesa de Tese de Doutorado.

SUMÁRIO

RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	x
CAPÍTULO I: DIAGNOSE NUTRICIONAL PARA MINICEPAS EUCALIPTO	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
INTRODUÇÃO	18
MATERIAL E MÉTODOS	22
Área de estudo.....	22
Obtenção da população referência para minicepas de eucalipto.....	23
Métodos de diagnose nutricional.....	24
Avaliação da universalidade das normas conforme a estratégia para a obtenção da população de referência geradora das normas.....	27
RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES	46
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
CAPÍTULO II: DIAGNOSE NUTRICIONAL DE FLORESTAS JOVENS DE EUCALIPTO	51
RESUMO	52
ABSTRACT	53
INTRODUÇÃO	54
MATERIAL E MÉTODOS	58
Área de estudo.....	58
Obtenção da população de referência para florestas jovens de eucalipto.....	59
Métodos de diagnose nutricional.....	62
Avaliação da universalidade das normas conforme a estratégia para a obtenção da população de referência geradora das normas.....	64
RESULTADOS E DISCUSSÃO	67

CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
CAPÍTULO III: CONTRASTED WATER AND NUTRIENT REGIMES ALTER CARBON STORAGE IN SOIL AND BIOMASS OF EUCALYPT PLANTATIONS	88
RESUMO	89
ABSTRACT	90
INTRODUCTION	91
MATERIAL AND METHODS	93
Study site.....	93
Experimental design.....	93
Litter fall.....	95
Tree and soil sampling.....	96
Chemical and isotopical analyses.....	97
Statistical analyses.....	98
RESULTS	98
Carbon in the biomass.....	98
Carbon in the litter layer.....	100
Carbon in the mineral soil.....	100
¹³ C natural abundance.....	103
Contribution of eucalyptus to the SOM.....	103
DISCUSSION	104
REFERENCES	108
CONCLUSÕES GERAIS	113

RESUMO

LOURENÇO, Helton Maycon, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Julho de 2012. **Diagnose nutricional de eucalipto e impacto da disponibilidade de água e nutrientes nos estoques de carbono do povoamento.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Coorientadores: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite e Ivo Ribeiro da Silva.

No Brasil, atualmente, as florestas plantadas com as mais diversas espécies e híbridos de eucalipto ocupam uma área aproximada de 4,5 Mha. Normalmente essas áreas são de baixa fertilidade natural e, portanto, necessitam de suplementação nutricional para que altas produtividades possam ser alcançadas. Em ambientes tropicais, onde a radiação não é limitante, a manutenção de fluxos satisfatórios de água e nutrientes são essenciais para a sustentabilidade florestal. A análise foliar, por refletir esses fluxos, é uma poderosa ferramenta para a correta recomendação de suplementação nutricional das florestas. Entretanto, nem sempre a interpretação dos resultados destas análises é fácil, sendo com grande frequência sujeita a erros de diagnósticos. O uso de métodos baseados no equilíbrio e balanço nutricional permite uma melhor interpretação dos resultados. Neste sentido, os métodos DRIS e Índice balanceados de Kenworthy tem-se destacado como ferramentas de monitoramento nutricional em florestas de eucalipto. O sucesso no uso dessas ferramentas depende principalmente da obtenção de normas confiáveis, que por sua vez são obtidas de populações de plantas que melhor refletem todo o potencial de crescimento de um determinado sítio florestal. Florestas onde a limitação nutricional é corrigida tendem a acumular maior quantidade de carbono em sua biomassa, seja ela de parte aérea ou de raízes. Esta última, devido a características químicas e por estar em contado direto com o solo, é a principal fonte de transferência de carbono da biomassa de plantas para frações estáveis da matéria orgânica do solo. Assim, os objetivos deste trabalho foram a obtenção de normas nutricionais para minicepas de eucalipto, cultivadas na fase de minijardim clonal em viveiro florestal, e para florestas jovens de eucalipto na região do Extremo Sul da Bahia, e verificar os efeitos da suplementação com água + nutrientes sobre os estoques de carbono no solo e planta em florestas de eucalipto. Conclui-se que: a) As normas DRIS e IBKW ajustadas

para minicepas de eucalipto se mostraram sensíveis à estação no ano; b) O uso de normas específicas, que leva em consideração a estação do ano, se mostrou mais adequado que normas gerais; c) O uso de métodos diagnósticos além de permitir avaliar o equilíbrio e balanço nutricional de minicepas de eucalipto também é útil para indicar a necessidade de possíveis ajustes na solução nutritiva dos minijardins clonais; d) Em plantios jovens de eucalipto o uso de parcelas que apresentam crescimento próximo ao potencial é mais adequado para a composição da população de referência e como consequência das normas nutricionais; e) Os métodos diagnósticos permitiram detectar uma forte tendência de limitação por Ca nas florestas jovens de eucalipto; f) Quando há suplementação de água e nutrientes os estoques de carbono na biomassa florestal podem aumentar; g) Não foi observado efeito do aumento na disponibilidade de água sobre a produtividade florestal, entretanto há uma maior produção de biomassa de raízes finas e como consequência um aumento dos estoques de C no solo. h) Uma aplicação excessiva de nutrientes pode levar a redução nos teores de carbono no solo.

ABSTRACT

LOURENÇO, Helton Maycon, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July 2012. **Eucalypt nutritional diagnose and impact of water and nutrients availability in carbon stocks of the stand.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-advisers: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite and Ivo Ribeiro da Silva.

Currently, in Brazil, planted forests with different species and hybrids of *Eucalyptus* occupy an area of 4.5 Mha approximate. Normally, these areas have low fertility and therefore require nutritional supplementation for high yields. In tropical environments, where the radiation is not limiting, to maintain satisfactory flow of water and nutrients are essential for forest sustainability. Once leaf analysis reflect these flows it is a powerful tool for a correct recommendation of forests nutritional supplementation. However, not always the interpretation of results of these analyzes is easy, with very frequently subject to diagnostics error. The use of methods based on balance and nutrient equilibration allows a better results interpretation. In this sense, the DRIS index and balanced Kenworthy index has been highlighted as monitoring tools of nutritional eucalyptus forest. The successful use of these tools is dependent primarily on obtaining reliable norm, which in turn are obtained from populations which better reflect the potential for growth of a particular forest site. Forests with no nutrient limitation tend to accumulate higher amounts of carbon in their biomass, even above or belowground. The belowground biomass, due to chemical characteristics and be in direct contact with the soil, is the primary source of carbon for stable fractions of soil organic matter. The objectives of this study were to obtain nutritional norms for eucalypt ministumps, grown on clonal minigarden phase in a nursery, and for young eucalyptus forests in the extreme south of Bahia, and check the effects of supplementation with water + nutrients on carbon stocks in soil and eucalypt forests. We conclude that: a) The DRIS norms and IBKW adjusted for eucalypt ministumps were sensitive to the season in the year; b) the use of specific norms, which take into account the season, led to better results than general norm; c) The use of diagnostic methods to evaluate the eucalypt ministumps equilibration and balance of nutrient is also useful to indicate the need for possible adjustments in the nutrient solution; d) In young eucalyptus plantations using plots that

present growth close to potential is more suitable for the composition of the reference population and as a result of nutritional norms; e) The diagnostic methods have unearthed a strong tendency by limiting Ca in young eucalypt forests; f) When there is supplemental water and nutrients carbon stocks in forest biomass may increase; g) There was no effect of the increased availability of water on forest productivity, however there is a higher biomass of fine roots and as a result of an increase in soil C stocks; h) An excessive application of nutrients can lead to reduction in the content of carbon in the soil.

INTRODUÇÃO GERAL

Em ambientes tropicais, a sustentabilidade da produção florestal é governada, principalmente, pelos fluxos de água e nutrientes do solo, uma vez que, geralmente, temperatura e radiação solar não são limitantes (Barros & Comerford, 2002). Nessas regiões, a base para a sustentabilidade, e, portanto, para a competitividade do setor florestal é a manutenção em bons níveis dos fluxos de água e nutrientes (Neves, 2000; Barros & Comerford, 2002).

A limitação nutricional em solos tropicais altamente intemperizados, com baixa fertilidade, é frequentemente corrigida pelo adequado manejo nutricional (Silva, 2006), que pode ser alcançado pela avaliação e diagnóstico do estado nutricional, com base em análise de tecido, uma vez que os teores de nutrientes nas plantas refletem os fluxos de água e nutrientes, como estratégia complementar à análise de solo.

Para essa avaliação devem ser utilizados métodos que avaliem o aspecto quantitativo da nutrição, o balanço, por exemplo, o método dos índices balanceados de Kenworthy, IBKW (Kenworthy, 1961), e que avaliem o aspecto qualitativo, o equilíbrio, como por exemplo os baseados em relações entre os nutrientes, como o Sistema Integrado de Recomendação e Diagnose, DRIS (Beaufils, 1973).

Na cultura do eucalipto a avaliação do estado nutricional, com base em análise de tecido, deve se iniciar na fase de minijardim, uma vez que a adição de nutrientes ao substrato de crescimento das minicepas é realizada com frequência diariamente e a coleta de estacas para a produção de mudas ocorre semanalmente, e prosseguir na fase de plantios jovens com o objetivo também de avaliar a efetividade das adubações já feitas (no plantio e nas primeiras coberturas) e orientar a necessidade de ajustes no programa de fertilização.

Para a utilização dos métodos de avaliação do estado nutricional é necessário a obtenção de normas ou valores padrões, com base nos quais são calculados índices.

Para a fase de minijardim, essas normas devem refletir os efeitos dos fatores que influem no enraizamento, fase inicial de todo o processo de produção florestal. Na fase

de plantios jovens, as normas devem refletir os efeitos dos fatores do ambiente que interferem na taxa de aquisição dos nutrientes e na taxa de crescimento da floresta.

Para eucalipto, no Brasil, na fase de minijardim, as normas disponíveis para avaliar o grau de balanço (método Kenworthy) e de equilíbrio (DRIS) são as constantes do trabalho de Cunha (2010), realizado em viveiros na Região do Vale do Rio Doce, MG. Já para plantios jovens há disponibilidade de normas para a região litorânea Norte do Espírito Santo e Sul da Bahia (Rocha, 2008), para o estado de São Paulo (Fernandes, 2010), para a região do Vale do Rio Doce-MG (Silva, 2006), para o Oeste do Maranhão/Sudeste do Pará (Fernandes et al., 2009), além de outras regiões (Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul) obtidas em trabalhos recentemente desenvolvidos pelo NUTREE – Programa em Nutrição e Solos Florestais.

Na fase de minijardim, a semelhança de substrato de crescimento e do manejo utilizado nas várias empresas permite supor que as normas para essa fase apresentem elevado grau de universalidade, fato cuja investigação é relevante e oportuna.

Para a fase de plantios jovens, cujas normas têm sido obtidas em populações de referência definidas pelo crescimento inicial, já se sabe que o grau de universalidade das normas é baixo, cabendo investigar se a estratégia que vem sendo adotada para a escolha da população de referência é a mais adequada.

Florestas plantadas com eucalipto no Brasil possuem elevadas taxas de crescimento anual sendo importantes drenos de C atmosférico (Stape et al., 2010) podendo contribuir para a mitigação das emissões de CO₂ atmosférico. Nessas florestas a manipulação na disponibilidade dos recursos água e nutrientes pode alterar a aquisição e a partição do C fixado no processo de fotossíntese (Silva, 2006; Stape et al., 2008; Lourenço, 2009), nos diferentes compartimentos das plantas (folha, galhos, casca, lenho e raízes), cabendo investigar os efeitos da disponibilidade desses recursos sobre o carbono no compartimento solo. Plantas com maior suprimento de recursos tendem a crescer mais e como consequência produzirem maior quantidade de litter, seja ele oriundo de folhas ou raízes (Kätterer et al., 1995). A ciclagem de raízes, principalmente as finas, representam a maior fonte de input de C no solo todos os anos (Kätterer et al., 1995; Lima et al., 2006; King et al., 2002; Batlle-Bayer et al., 2010; Kuzyakov & Domanski, 2000), de grande importância para a matéria orgânica do solo e assim para a sustentabilidade da produção florestal.

Este trabalho está dividido em três capítulos. O primeiro trata da obtenção de normas nutricionais para minicepas clonais de eucalipto cultivadas em viveiro no Extremo Sul da Bahia, sua comparação em relação a outro viveiro e o efeito da sazonalidade climática ao longo do ano sobre essas normas. No segundo capítulo são avaliadas diferentes estratégias para a obtenção da população de referência e sua implicação na sensibilidade das normas para florestas jovens de eucalipto. O Capítulo III trata dos efeitos da manipulação dos recursos água e nutrientes sobre os estoques de carbono na biomassa e no solo de florestas plantadas com eucalipto na região do Vale do Rio Doce, MG.

Este trabalho teve como objetivos: obter normas para o diagnóstico nutricional de minicepas de eucalipto em viveiro no extremo sul da Bahia e avaliar o grau de universalidade das normas nessa fase; obter normas para florestas jovens de eucalipto na região do Extremo Sul da Bahia e avaliar diferentes estratégias para a definição da população de referência; avaliar a influência da manipulação dos recursos água e nutrientes sobre os estoques de carbono no solo e planta de florestas de eucalipto.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

- 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., ed. Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, Folha de Viçosa, 2002. V.2. p. 487-592.
- BATLLE-BAYER, L., BATJES, N. H., & BINDRABAN, P. S. Changes in organic carbon stocks upon land use conversion in the Brazilian Cerrado: A review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 137(1-2), 47-58. 2010.
- BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Sci. Bull.* 1. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. 1973. 132p
- CUNHA, A.C.M.C.M. Diagnose nutricional de minicepas e previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto por redes neurais. Viçosa, MG, UFV. 2010. (Tese de Doutorado).

- FERNANDES, L.V.; NEVES, J.C.L.; LEITE, R.A.; BARROS, N.F.; ALVAREZ V., V.H.; LANA, G.C. Normas e valores de referência para avaliação do estado nutricional de plantios jovens de eucalipto nas regiões de Açailândia (MA) e Sudeste do Pará. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 32, 2009, Fortaleza. Resumos, SBCS, 2009. CD.
- KÄTTERER, T., FABIÃO, A., MADEIRA, M., RIBEIRO, C., & ELIEL, S. Fine-root dynamics , soil moisture and soil carbon content in a Eucalyptus globulus plantation under different irrigation and fertilisation regimes linearly between. *Forest Ecology and Management*, 74, 1-12. 1995.
- KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: REUTHER, W. *Plant analysis and fertilizers problems*. Washington: American Institute of Biological Science, p. 28-43, 1961.
- KING, J. S., ALBAUGH, T. J., ALLEN, H. L., BUFORD, M., STRAIN, B. R., & DOUGHERTY, P. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine. *New Phytologist*, 154(2), 389-398, 2002.
- KUZYAKOV, Y., & DOMANSKI, G. Carbon input by plants into the soil. Review. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 163, 421-431. 2000.
- LIMA, A. M. N., SILVA, I. R., NEVES, J. C., NOVAIS, R. F., BARROS, N. F. D., MENDONÇA, E. S., SMYTH, T. J., et al. Soil organic carbon dynamics following afforestation of degraded pastures with eucalyptus in southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 235, 219-231. 2006.
- LOURENÇO, H.M., *Crescimento e eficiência do uso de água e nutrientes em eucalipto fertirrigado*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 157p. 2009.
- 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 do Norte Fluminense, 2000. 191p. (Tese de Doutorado)

- ROCHA, J.B. Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Viçosa, MG, UFV, 2008. (Dissertação de Mestrado).
- SILVA, G. G. C. Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 102p. (Tese de Doutorado)
- STAPE, J. L., BINKLEY, D., & RYAN, M. G. Production and carbon allocation in a clonal Eucalyptus plantation with water and nutrient manipulations. *Forest Ecology and Management*, 255, 920-930. 2008.
- STAPE, J. L., BINKLEY, D., RYAN, M. G., FONSECA, S., LOOS, R. A., TAKAHASHI, E. N., SILVA, C. R., et al. . The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project : Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. *Forest Ecology and Management*, 259(9), 1684-1694. 2010

CAPÍTULO I

DIAGNOSE NUTRICIONAL PARA MINICEPAS DE EUCALIPTO

RESUMO

A adoção de técnicas de propagação clonal de híbridos e/ou espécies superiores de eucalipto contribuíram para o sucesso da silvicultura brasileira. O status nutricional tem papel importante na taxa enraizamento das miniestacas sendo que e as variáveis ambientais luz e temperatura podem influenciar significativamente nesta condição. Neste sentido o Sistema Integrado de Recomendação e Diagnose (DRIS) e o Índice Balanceado de Kenworthy (IBKW) podem ser utilizados para como ferramentas de diagnóstico e manejo nutricional de viveiro de eucalipto, notadamente na fase de minijardim. Assim, o objetivo deste trabalho foi obter normas nutricionais para minicepas e verificar sua universalidade, tanto considerando a estação do ano como também para diferentes locais de produção das mudas. Na fase de minicepas a população foi estratificada de acordo com a estação do ano inverno ou verão (normas específicas) e as informações de taxa de enraizamento foram utilizadas como critério de seleção da população de alta produtividade. Com base nos resultados de análise nutricional foram obtidas as normas nutricionais para ambas as estações do ano e também normas gerais (com base em todas as informações, sem distinção de estação do ano). As normas específicas diferiram das normas gerais em uma frequência de 75,5 e 72,5 %, considerando as normas para o inverno e verão, respectivamente. As normas estabelecidas para o extremo sul da Bahia diferiram daquelas obtidas para a região do Vale do Rio Doce. Estes resultados indicam que o uso de normas específicas é mais apropriado para o monitoramento nutricional de minicepas de eucalipto que as normas gerais. Conclui-se que há efeito da estação do ano sobre as normas de equilíbrio e balanço nutricional e que o uso de normas específicas traz maior sensibilidade para o diagnóstico nutricional de minicepas de eucalipto.

ABSTRACT

The adoption of clonal propagation techniques of higher hybrid and/or species of *Eucalyptus* contributed to the success of the Brazilian forestry. The nutritional status plays an important role in rooting rate, where environmental variables like light and temperature can significantly influence. The Integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS) and the Balanced Index of Kenworthy (IBKW) can be used as tools for diagnosis and nutritional management of eucalypt, especially in minigarden phase. Thus, the aim of this study was to obtain nutritional norms for minigarden and verify its universality, both considering the season as well as different region of seedlings production. In phase ministumps the population was stratified according to the season winter or summer (specific norm) and rooting rate information were used as selection criteria for the population of high productivity based on the results of the nutritional analysis were obtained nutritional norms for both seasons and also general norms (based on all information, regardless of season). Specific norms differ from the general norms on a frequency of 75.5 and 72.5%, considering the standards for winter and summer, respectively. The norms set for the extreme south of Bahia differ from those observed in the region of Rio Doce Valley. These results indicate that the use of specific norms is more suitable for monitoring nutritional ministumps eucalypt that the general norms. We conclude that the effect of season on norms of balance and nutrient balance and the use of specific standards provides greater sensitivity for the diagnosis of nutritional ministumps eucalypt.

INTRODUÇÃO

A utilidade de metodologias de avaliação do estado nutricional das plantas depende da capacidade em identificar corretamente qual nutriente limita a produtividade das culturas, de modo a possibilitar a correção de desequilíbrios nutricionais, pela correção no manejo da adubação (Beverly & Hallmark, 1992).

Tradicionalmente, as avaliações nutricionais são realizadas com base no nível crítico, conceituado como o teor de um dado nutriente, acima do qual há baixa probabilidade de resposta à sua adição (Bates, 1971). No entanto, o nível crítico de um nutriente na planta é influenciado, além da disponibilidade do nutriente no solo, por fatores como o clima, genótipo, manejo, época de amostragem e disponibilidade de outros nutrientes (Bates, 1971; Leaf, 1973; Martinez et al., 1999).

Devido a essa dificuldade de interpretação dos resultados de análise de tecido vegetal tem-se buscado métodos que avaliam o balanço e equilíbrio dos nutrientes entre si, como os Índices Balanceados de Kenworthy, IBKW (Kenworthy, 1961) e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação, DRIS (Beaufils, 1973). Esses métodos podem ser utilizados como ferramentas complementares no auxílio do manejo nutricional, aprimorando a definição e interpretação do status nutricional (Wadt, 2004).

O IBKW é um método de interpretação de análise foliar, que estabelece faixas para a classificação dos teores de nutrientes na planta, introduzindo a variabilidade, expressa pelo conceito de coeficiente de variação, na diagnose foliar.

Este método trabalha com o aspecto quantitativo da diagnose nutricional, uma vez que avalia os nutrientes de forma isolada, e fornece a informação do quanto o teor do nutriente encontrado em uma determinada parcela dista dos valores de referência, tido como ideais, aceitando uma faixa de variabilidade. Essa variabilidade, expressa em

coeficiente de variação, influencia significativamente a sensibilidade dos diagnósticos produzidos, fato observado na obtenção do IBKW para soja (Kurihara, 2004) e eucalipto (Rocha, 2008) onde foram observados decréscimos na sensibilidade da diagnose quando o coeficiente de variação do teor do nutriente na população de referência foi superior a 40 %.

O DRIS avalia o equilíbrio nutricional por meio de índices numéricos baseados no afastamento entre os valores das relações duais entre os teores de nutrientes existentes numa dada lavoura sob diagnose e os valores das relações duais existentes em uma população referência. Os valores de afastamento assim obtidos são denominados de funções DRIS, cuja integração, para um mesmo nutriente, dá origem aos índices DRIS. Tais índices, para um mesmo nutriente envolvido na diagnose, expressam o grau de equilíbrio de um nutriente em relação a todos os demais (Fernandes, 2010).

O cálculo dos índices é realizado pelo quociente de um determinado nutriente (A) com todos os demais (B, C, D,...) na sua forma direta (A/B; A/C; A/D;...) e inversa (B/A; C/A; D/A;...), tomando com base o fato de que o teor ótimo corresponde ao valor de índice DRIS que representa o equilíbrio nutricional, ou seja, zero. Entende-se que quanto mais negativo for o valor do índice DRIS maior será a limitação por falta daquele nutriente, o contrário, quanto mais positivo maior será a limitação por excesso. Assim, é possível ordenar os valores de índices DRIS em ordem crescente e identificar qual é o nutriente mais limitante ao desenvolvimento da cultura em questão. Outro ponto importante na utilização dos índices DRIS é que o mesmo permite o cálculo do Índice de Balanço Nutricional médio (IEN_m , Wadt, 1996). O IEN_m é obtido pela soma dos valores absolutos dos índices DRIS e fornece uma ideia do balanço global do equilíbrio nutricional das plantas, considerando todos os nutrientes envolvidos na obtenção dos índices DRIS. Quanto mais próximo de zero é o valor de IEN_m mais equilibrada nutricionalmente está a população de plantas.

O sucesso no uso dos métodos de diagnose DRIS e IBKW no monitoramento do estado nutricional de uma população de plantas está associado à obtenção de normas representativas. Normas são valores de teores nutricionais e/ou relações nutricionais consideradas referências e que melhor expressam o balanço e equilíbrio nutricional de um determinado grupo de plantas (Alvarez V. & Leite, 1992). Segundo Beaufils (1973)

a população de plantas utilizada na geração das normas para a diagnose nutricional deve refletir toda a variabilidade dos teores de nutrientes.

O conceito dos métodos de diagnóstico IBKW e DRIS pode ser aplicado a qualquer fase de desenvolvimento de uma cultura. Dentro do processo produtivo de mudas de eucalipto utilizando técnicas enraizamento de miniestacas, a fase de minijardim destaca-se como um ponto chave, uma vez que parte considerável da silvicultura clonal de eucalipto no Brasil está baseada na produção de mudas clonais via enraizamento de miniestacas obtidas de a partir de genótipos híbridos/puros superiores (Assis et al., 2004).

Na literatura poucos são os trabalhos que utiliza os princípios preconizados por Beaufils (1973) e Kenworthy (1961) para o diagnóstico nutricional das minicepas, exceção é o de Cunha (2010) que obteve normas nutricionais para minicepas clonais de eucalipto cultivadas em canaletão de areia na região do Vale do Rio Doce – MG.

Os nutrientes minerais são um fator chave na morfogênese de raízes, com funções específicas no metabolismo das plantas, como por exemplo, nos constituintes de estruturas orgânicas, como ativadores de reações enzimáticas e reguladores osmóticos (Marschner, 1995). A nutrição mineral é um fator chave na formação de raízes (Assis, 2001) atuando na formação lateral e na densidade de raízes (Schwambach et al., 2005).

Além da nutrição mineral, os fatores climáticos também podem interferir no crescimento das minicepas e consequentemente nas taxas de enraizamento das estacas por elas produzidas (Cunha et al., 2008, 2009a e 2009b). A intensidade de luz pode influenciar fortemente a produção de brotos e o enraizamento de estacas por redução no aumento de substâncias fenólicas endógenas, as quais podem agir como inibidores ou promotores, dependendo das concentrações nos tecidos e nas espécies (Assis et al., 2004). Segundo esses mesmos autores, a luz também pode afetar a concentração endógena de citocininas, que possuem funções inibidoras do enraizamento. A temperatura pode influenciar no enraizamento, atuando, sobretudo na absorção de nutrientes e no metabolismo. Segundo Hartmann et al. (1997), a divisão celular é favorecida com o aumento da temperatura e, consequentemente, auxilia na formação de raízes e na produção de brotos.

Assim, pode-se propor que minicepas que produzem estacas com alto potencial de enraizamento também possuem um alto nível de equilíbrio e balanço nutricional e que fatores climáticos, como temperatura e disponibilidade de luz influenciam nessa taxa, e como consequência nas normas a serem utilizadas. Contudo, na fase de minijardim, o substrato de crescimento, normalmente leito de areia, e do manejo utilizado, fertirrigação, permite supor que as normas para essa fase apresentem elevado grau de universalidade, fato cuja investigação é relevante e oportuna.

Este trabalho teve como objetivos: obter normas para o diagnóstico nutricional de minicepas de eucalipto em viveiro clonal no extremo sul da Bahia e avaliar o grau de universalidade das normas nessa fase, considerando o efeito das estações do ano sobre a taxa de enraizamento das miniestacas e diferentes regiões de produção.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Eunápolis, extremo sul da Bahia. O clima da região, segundo Köppen, é classificado como Am (tropical úmido sem estação seca pronunciada) com precipitação média em torno de 1.545 mm e temperaturas variando entre 19,1 e 27,6 °C. O detalhamento da distribuição de chuvas e temperaturas durante o ano pode ser observada no Quadro 1.

Quadro 1. Precipitação pluvial média, número médio de dias com evento de chuva, temperatura máxima e mínima na área de estudo. Os dados climáticos correspondem ao período de jan/2005 a dez/2011 obtidos por uma rede de 11 estações meteorológicas distribuídas na área de estudo.

Mês	Precipitação ---- mm ---	Número de dias com precipitação	Temperatura máxima ----- °C	Temperatura mínima -----	Fotoperíodo --hora/dia-
Jan	98,09	12	29,51	21,44	13,0
Fev	98,11	12	29,65	21,55	12,7
Mar	187,48	15	29,87	21,72	12,2
Abr	247,15	14	28,61	21,09	11,7
Mai	109,48	10	26,84	19,52	11,4
Jun	103,39	13	25,45	18,23	11,2
Jul	87,43	14	25,11	17,64	11,2
Ago	73,83	14	25,55	17,80	11,6
Set	59,24	11	26,33	18,33	12,0
Out	150,94	13	27,50	19,86	12,4
Nov	200,39	15	27,73	20,54	12,9
Dez	129,79	12	29,01	21,25	13,1
Total	1.545,33		27,60	19,91	12,12

Obtenção da População de Referência para Minicepas de eucalipto.

As mudas de eucalipto são produzidas a partir de estacas coletadas em minicepas clonais, que por sua vez são cultivadas em canaletão de leito de areia. As minicepas recebem diariamente nutrientes, via fertirrigação por gotejamento, e uma vez por semana é feita a coleta de estacas para a produção das mudas, via estaqueamento em tubete. Em intervalos quinzenais, no momento da coleta de um lote de estacas, amostras do primeiro par de folhas totalmente expandido são retiradas de aproximadamente 30 minicepas distribuídas aleatoriamente ao longo do canaletão e enviadas para laboratório para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Mn, Fe, Cu e B.

Trinta dias após o estaqueamento é realizada avaliação qualitativa das mudas e também a determinação da taxa de enraizamento (%), ou seja, o percentual de estacas que emitiram raízes em relação ao total de estacas produzidas naquele lote. Todos os resultados dos teores nutricionais, de acordo com o material genético e data de coleta, foram relacionados às informações de taxa de enraizamento. Assim, foram obtidas informações de 903 análises foliares, coletadas de 39 diferentes materiais genéticos com suas respectivas taxas de enraizamento aos 30 dias, coletadas no período de fevereiro de 2002 a janeiro de 2012.

Na determinação da população de referência foi calculado o valor de média e o desvio padrão (s) da taxa de enraizamento. Os lotes de estacas cujo percentual de enraizamento ficou acima da média + 0,5s foram utilizadas para a obtenção das normas nutricionais consideradas neste trabalho como Geral.

As normas gerais obtidas neste trabalho foram comparadas àquelas estabelecidas por Cunha (2010) para a região do Vale do Rio Doce (MG) para avaliação do grau de universalidade das normas em nível regional.

Considerando-se que as variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa, fotoperíodo) podem influenciar na taxa de enraizamento (Cunha et al., 2009c) e buscando um maior refinamento nas normas a serem utilizadas no manejo nutricional do minijardim, os dados foram estratificados em dois períodos: Verão, que compreende ao período entre os meses de outubro a abril e Inverno que vai dos meses de maio a setembro (Quadro 2).

Quadro2 – Número de observações e faixa de temperatura para os dois períodos do ano considerado na obtenção de normas específicas para Mini Jardim Clonal de eucalipto na Veracel.

Período	Temp. Máxima	Temp. Mínima	Temp. Média	Fotoperíodo médio
	----- °C -----			horas/dia
Verão	28,84	21,06	24,18	13,1
Inverno	25,88	18,29	21,61	11,2

Assim como realizado anteriormente, os dados nutricionais foram relacionados a taxa de enraizamento obtidos aos 30 dias e a população de referência foi determinado por aquelas situações onde a taxa de enraizamento foi superior a média + 0,5 s.

Métodos de diagnose nutricional

Foram utilizadas para a diagnose do status nutricional os métodos DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação), proposto por Beaufils (1973) e o método dos Índices Balanceados de Kenworthy, IBKW (Kenworthy, 1961).

Para o método de Kenworthy, foram obtidas a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação dos teores dos nutrientes nas populações de referência. Foram calculados os índices-padrão (P, I e B, todos expressos em porcentagem), segundo o método ajustado por Alvarez V., a partir de Kenworthy (1973) (Kurihara, 2004). O cálculo desses índices leva em consideração o coeficiente de variação do teor médio do nutriente da população de referência.

$$P = \frac{100y_i}{\bar{Y}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$I = \frac{CV(y_i - \bar{Y})}{\bar{Y}} \quad \text{Equação (2)}$$

$$IBKW = P - I \quad \text{Equação (3)}$$

sendo,

P – proporção entre o teor do nutriente na amostra (y_i) e o teor padrão (\bar{Y});

I – influência da variação;

CV – Coeficiente de variação do teor da população de referência; e

IBKW – Índice balanceado de Kenworthy.

De acordo com o valor obtido de IBKW, os resultados foram interpretados da seguinte forma: Deficiente (< 50 %); Tendência a Deficiente (50 a 83 %); Suficiente (83 a 117 %); Tendência a Excesso (117 a 150 %) e Excessivo (> 150 %)(Kenworthy, 1961).

A fim de permitir comparações com os valores dos índices obtidos pelo método DRIS os valores de IBKW de cada nutriente foram convertidos para valores na escala normal reduzida de z, seguinte método proposto por Kurihara (2004):

$$z(IBKW) = \frac{IBKW-100}{CV-\frac{CV^2}{100}} \quad \text{Equação (4)}$$

Uma vez ajustado os índices z(IBKW), também foi possível calcular os valores médios dos índices, definidos pela soma dos valores absolutos de z(IBKW)_m dividido pelo número total de nutrientes avaliados (n):

$$Z(IBKW)_m = \frac{|Z(IBKW)_A|+|Z(IBKW)_B|+\dots+|Z(IBKW)_n|}{n} \quad \text{Equação (5)}$$

Para o DRIS, a partir das parcelas da população de referência, foram estabelecidos os quocientes entre o teor de um dado nutriente (A) e os teores dos demais nutrientes (B, C,.....,n), sendo esta transformadas em variáveis normal reduzidas (escala z) (Jones, 1981). Para todas as relações direta e inversa entre os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B, dois a dois, foram calculadas as normas (média e desvio padrão). Na relação direta o nutriente aparece no numerador, e na inversa o nutriente aparece no denominador. Pelo cálculo aritmético das relações diretas (A/B) e inversa (B/A), transformadas em variáveis reduzidas, foi definido o índice DRIS (I_A), conforme Alvarez V. & Leite (1999):

$$Z\left(\frac{A}{B}\right) = \frac{\left[\left(\frac{A}{B}\right)-\left(\frac{a}{b}\right)\right]}{s} \quad \text{Equação (6)}$$

$$I_A = \frac{\left[z\left(\frac{A}{B}\right)-z\left(\frac{B}{A}\right)+z\left(\frac{A}{C}\right)-z\left(\frac{C}{A}\right)+\dots+z\left(\frac{A}{N}\right)-z\left(\frac{N}{A}\right)\right]}{n-1} \quad \text{Equação (7)}$$

em que:

A/B – relação dual de nutrientes da população de diagnose;

a/b – relação dual de nutrientes na população de referência;

s – desvio padrão da população de referência;

I_A – índice DRIS do nutriente;

n – número de nutrientes envolvidos na análise.

A soma dos valores absolutos dos índices DRIS, de cada nutriente, resulta no índice de equilíbrio nutricional (IEN, equação 8), sendo que os maiores valores refletem um maior desequilíbrio nutricional (Summer, 1977). Ao dividir o IEN pelo número de nutrientes envolvidos na diagnose nutricional obtém-se o Índice de Equilíbrio Nutricional Médio (IEN $_m$, equação 9), que reflete a média dos desvios dos nutriente em relação ao ótimo (Wadt, 1996).

$$IEN = |I_A| + |I_B| + \dots + |I_n| \quad \text{Equação (8)}$$

$$IEN_m = \frac{IEN}{n} \quad \text{Equação (9)}$$

em que:

IEN = índice de equilíbrio nutricional

$|I_n|$ = valores dos índices DRIS para cada nutriente, em módulo;

IEN $_m$ = índice de equilíbrio nutricional médio;

n = número de nutrientes envolvidos na diagnose.

Com base nos valores de IEN $_m$ e dos índices DRIS foi feita a alocação de cada nutriente nas classes de Potencial de Resposta a Adubação (PRA) (Wadt, 1996). A quadro 3, apresenta os critérios para alocação dos nutrientes em cada classe.

Quadro3. Critérios utilizados para alocação dos nutrientes nas classes PRA, de acordo com os valores de IDRIS e IEN $_m$.

Índice DRIS	Módulo do Índice DRIS	+LF ou +LE	Classe PRA
< 0	> IEN $_m$	Sim	p
< 0	> IEN $_m$	Não	pz
≤ 0	≤ IEN $_m$	Independente	z
≥ 0	≤ IEN $_m$	Independente	z
> 0	> IEN $_m$	Não	nz
> 0	> IEN $_m$	Sim	n

+ LF: o mais limitante por falta; + LE: o mais limitante por excesso; p: positiva, pz: positiva ou nula; z: nula; nz: negativa ou nula; n: negativa.

Avaliação da universalidade das normas

As normas nutricionais obtidas consistem da média aritmética dos teores dos nutrientes, suas relações duais (direta e inversa) e da sua variabilidade, sendo assim possível avaliar seu grau de universalidade.

Para as minicepas clonais, primeiramente, para avaliar o grau de universalidade das normas de forma regional, foram realizados testes comparando normas geradas para a região do Vale do Rio Doce – MG (Cunha, 2010) com as obtidas neste trabalho. Em um segundo momento foi realizado o teste comparando as normas obtidas para o Extremo Sul da Bahia considerando a universalidade de normas gerais e específicas para o período de inverno e o período de verão.

Para avaliar a homogeneidade de variância entre as populações foi realizado o teste F unilateral ($p < 0,05$), pelo quociente entre a maior e a menor variância, como mostrado na equação 9:

$$F = \frac{S_A^2}{S_B^2} \quad \text{Equação (9)}$$

em que,

S_A^2 = variância de maior valor;

S_B^2 = variância de menor valor.

A avaliação de diferença entre as normas, quanto a média, foi feita com base no teste t bilateral ($p < 0,05$). Para as comparações entre as populações com variância homogênea, o teste t foi aplicado conforme as equações 10 e 11:

$$t = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{s_c^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad \text{Equação (10)}$$

$$s_c^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad \text{Equação (11)}$$

em que:

$(n_1 + n_2 - 2)$ = são os graus de liberdade;

\bar{y}_1 e \bar{y}_2 = variância das normas da população 1 (1 a 4 anos) e padrão (1 ano), utilizadas em cada comparação;

s_c^2 = variância comum entre as populações em comparação;

n_1 e n_2 = número de parcelas de cada população (1 e 2), em comparação.

No caso em que a variância foi heterogênea, o cálculo do teste t foi realizado utilizando a equação 10, mas para o cálculo do número de graus de liberdade (n^*), utilizou-se a equação 12:

$$n^* = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1-1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2-1}} \quad \text{Equação (12)}$$

A universalidade das normas, entre as estratégias, também foi avaliada ao comparar a frequência de diagnósticos concordantes (FDC), ou seja, frequência em que as diferentes normas levaram a diagnósticos semelhantes, das classes obtidas, utilizando em um mesmo conjunto de parcelas normas específicas e gerais, para os métodos Kenworthy, DRIS e o PRA considerando as classes definidas para cada um desses métodos, considerou-se que FDC menores que 95 % refletem diferenças significativas entre normas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relacionando os dados de taxa de enraizamento aos 30 dias após o estaqueamento e os dados de análise nutricional obtidos em coletas realizadas quinzenalmente no minijardim clonal, foi possível ajustar normas gerais, que considerou toda a população e normas específicas que levou em consideração a estação do ano em que foram coletadas as amostras.

Para o cálculo das normas DRIS e IBKW, considerando todas as amostras (Norma Geral), foram selecionadas 28 % do total o que corresponde a um montante de 253 registros. Para a obtenção das normas específicas de inverno, foram selecionados 119 registros ou 38 % da população e considerando apenas a estação quente (verão) foram selecionados para a população de referência 213 registros ou 38 % do total de registros deste subconjunto de dados (Quadro 4).

Quadro 4. Tamanho da população de dados utilizada para a geração das normas gerais e específicas para minicepas de eucalipto cultivadas em canaletão de areia.

Grupo Norma	População total	População norma
	----- <i>n</i> -----	
Geral	903	253
Verão	590	213
Inverno	313	119

Buscando uma avaliação da universalidade das normas nutricionais para minicepas clonais de eucalipto foi realizada a comparação das normas ajustadas para a região do Vale do Rio Doce, em Minas Gerais e descritas no trabalho de Cunha (2010) e as normas obtidas neste trabalho para o Extremo Sul da Bahia. Os resultados são apresentados na tabela 1:

Tabela 1. Normas e teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B e suas relações duais (direta e inversa), para os métodos de IBKW e DRIS, em minicepas clonais de eucalipto, considerando normas gerais propostas neste trabalho e normas proposta por Cunha (2010) para minicepas de eucalipto para a região do Vale do Rio Doce, MG e suas comparações pelo teste *t* (médias) e F (variância).

Variável	Geral ^{4/}			Cunha (2010) ^{5/}			Geral vs Cunha (2010) ^{6/}	
	Média ^{1/}	s ^{2/}	CV ^{3/}	Média ^{1/}	s ^{2/}	CV ^{3/}	Y ^{7/}	s ^{2 8/}
N ^{8/}	36,56	5,75	15,72	41,58	3,52	8,46	*	*
P ^{8/}	2,96	0,58	19,46	4,07	0,45	10,99	*	*
K ^{8/}	18,56	4,83	26,01	22,87	4,06	17,76	*	*
Ca ^{8/}	11,45	6,33	55,33	6,27	1,45	23,07	*	*
Mg ^{8/}	2,27	0,43	18,92	3,78	0,75	19,96	*	*
S ^{8/}	1,62	0,73	44,82	1,87	0,86	45,95	*	*
Zn ^{9/}	28,98	10,65	36,74	42,96	10,58	24,64	*	ns
Fe ^{9/}	100,52	49,79	49,54	94,56	37,07	39,21	ns	*
Mn ^{9/}	334,80	150,68	45,01	641,48	293,22	45,71	ns	*
Cu ^{9/}	7,48	4,93	65,94	14,11	7,49	53,08	*	*
B ^{9/}	80,78	30,21	37,40	51,26	13,83	26,98	ns	*
N/P	12,83	4,24	33,01	10,28	0,93	9,01	*	*
N/K	2,13	0,83	38,98	1,87	0,36	19,16	*	*
N/Ca	4,19	2,13	50,90	6,92	1,40	20,16	*	*
N/Mg	16,56	3,38	20,41	11,35	2,01	17,68	*	*
N/S	26,46	10,75	40,62	27,29	13,06	47,86	*	*
N/Zn	1,39	0,50	36,00	1,03	0,30	28,93	*	*
N/Fe	0,44	0,21	46,97	0,50	0,17	34,60	*	*
N/Mn	0,14	0,14	97,10	0,08	0,03	42,31	*	*
N/Cu	30,56	85,65	280,26	3,48	1,36	39,09	ns	*
N/B	0,51	0,21	41,14	0,89	0,36	40,56	*	*
P/N	0,08	0,02	20,03	0,10	0,01	9,18	*	*
P/K	6,35	1,57	24,64	0,18	0,03	17,49	*	*
P/Ca	0,69	0,50	71,89	0,68	0,16	23,38	*	*
P/Mg	0,26	0,13	49,25	1,11	0,22	19,86	*	*
P/S	0,75	0,40	54,26	2,70	1,37	50,83	*	*
P/Zn	19,99	8,47	42,36	0,10	0,03	28,71	*	*
P/Fe	3,59	1,58	44,06	0,05	0,02	38,78	*	*
P/Mn	3,90	2,75	70,48	0,01	0,00	37,50	*	*
P/Cu	0,02	0,02	72,89	0,34	0,15	42,57	*	*
P/B	54,37	144,69	266,14	0,09	0,04	45,45	ns	*
K/N	0,52	0,14	26,45	0,55	0,10	17,24	*	*
K/P	0,52	0,14	26,45	5,64	0,95	16,86	*	*
K/Ca	2,11	1,12	53,17	3,78	0,89	23,44	*	*
K/Mg	8,45	2,66	31,48	6,24	1,52	24,31	*	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{4/}			Cunha (2010) ^{5/}			Geral vs Cunha (2010) ^{6/}	
	Média ^{1/}	s ^{2/}	CV ^{3/}	Média ^{1/}	s ^{2/}	CV ^{3/}	Y ^{7/}	S ^{2 8/}
K/S	13,51	6,11	45,24	15,05	7,63	50,70	*	*
K/Zn	0,70	0,25	35,67	0,57	0,24	42,51	*	ns
K/Fe	0,22	0,11	48,25	0,27	0,10	37,00	*	ns
K/Mn	0,07	0,04	59,43	0,04	0,02	40,48	*	*
K/Cu	13,26	36,85	277,91	1,91	0,82	42,80	ns	*
K/B	0,26	0,12	45,99	0,50	0,24	48,09	*	*
Ca/N	0,34	0,23	69,05	0,15	0,03	22,52	*	*
Ca/P	4,16	2,81	67,51	1,56	0,39	24,74	*	*
Ca/K	0,69	0,50	71,89	0,28	0,07	25,36	*	*
Ca/Mg	5,32	3,35	62,97	1,69	0,40	23,38	*	*
Ca/S	7,69	4,20	54,58	4,05	1,84	45,51	*	*
Ca/Zn	0,42	0,24	56,34	0,16	0,08	51,88	*	*
Ca/Fe	0,13	0,09	72,48	0,08	0,03	38,67	*	*
Ca/Mn	0,05	0,05	107,26	0,01	0,01	41,67	*	*
Ca/Cu	9,97	27,42	274,94	0,52	0,22	42,58	ns	*
Ca/B	0,16	0,10	62,97	0,14	0,07	52,21	*	*
Mg/N	0,06	0,02	37,61	0,09	0,02	18,68	*	*
Mg/P	0,80	0,26	32,49	0,46	0,21	46,32	*	*
Mg/K	0,13	0,06	41,59	1,96	0,67	34,00	*	*
Mg/Ca	0,26	0,13	49,25	2,29	1,13	49,35	*	*
Mg/S	1,66	0,79	47,69	25,89	10,97	42,37	*	*
Mg/Zn	0,09	0,03	34,19	422,06	286,71	67,93	ns	*
Mg/Fe	0,03	0,01	50,33	0,87	0,35	39,86	*	*
Mg/Mn	0,01	0,01	72,89	0,02	0,01	43,48	*	*
Mg/Cu	1,69	4,42	262,07	1,24	0,38	30,61	*	*
Mg/B	0,03	0,01	44,84	0,01	0,01	53,85	*	*
S/N	0,05	0,02	51,62	0,05	0,02	44,44	*	*
S/P	0,57	0,30	52,67	10,60	2,56	24,12	*	*
S/K	0,10	0,06	63,37	0,62	0,30	47,92	*	*
S/Ca	0,17	0,09	50,68	15,39	5,73	37,21	*	*
S/Mg	0,75	0,40	54,26	177,13	92,67	52,32	ns	*
S/Zn	0,06	0,02	39,77	34,00	19,56	57,52	*	*
S/Fe	0,02	0,01	48,15	0,16	0,07	46,25	*	*
S/Mn	0,01	0,01	81,94	0,09	0,04	50,00	*	*
S/Cu	1,21	3,48	288,32	0,26	0,09	33,07	*	*
S/B	0,02	0,01	57,71	0,02	0,01	47,62	*	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{4/}			Cunha (2010) ^{5/}			Geral vs Cunha (2010) ^{6/}	
	Média ^{1/}	s ^{2/}	CV ^{3/}	Média ^{1/}	s ^{2/}	CV ^{3/}	Y ^{7/}	s ^{2 8/}
Zn/N	0,83	0,38	45,58	1,03	0,25	23,69	*	*
Zn/P	10,09	4,17	41,37	3,47	1,81	52,15	*	*
Zn/K	1,70	0,86	50,45	4,19	1,56	37,21	*	*
Zn/Ca	3,14	1,65	52,33	106,00	51,58	48,65	*	*
Zn/Mg	13,14	5,16	39,24	13,79	3,68	26,69	*	*
Zn/S	19,99	8,47	42,36	6,80	3,42	50,27	*	*
Zn/Fe	0,33	0,16	48,04	0,59	0,28	46,79	*	*
Zn/Mn	0,10	0,06	61,91	0,14	0,05	33,82	*	*
Zn/Cu	18,46	45,80	248,05	0,05	0,01	28,26	ns	*
Zn/B	0,40	0,22	54,85	0,05	0,03	62,75	*	*
Fe/N	2,90	1,78	61,42	2,26	0,81	36,04	*	*
Fe/P	35,73	20,14	56,35	23,30	8,79	37,73	*	*
Fe/K	6,03	4,20	69,70	4,19	1,56	37,21	*	*
Fe/Ca	10,40	5,50	52,91	15,39	5,73	37,21	*	ns
Fe/Mg	45,74	23,88	52,20	25,89	10,97	42,37	*	*
Fe/S	67,28	30,51	45,35	59,24	29,24	49,36	ns	ns
Fe/Zn	3,59	1,58	44,06	2,34	1,12	48,07	*	*
Fe/Mn	0,36	0,27	73,55	0,18	0,10	55,62	*	*
Fe/Cu	86,31	239,75	277,76	8,03	5,01	62,35	ns	*
Fe/B	1,37	0,82	59,47	2,06	1,43	69,54	ns	*
Mn/N	9,35	4,42	47,25	15,44	7,04	45,57	*	*
Mn/P	115,59	62,50	54,07	157,27	70,02	44,52	ns	ns
Mn/K	19,25	10,66	55,37	28,76	14,73	51,23	ns	*
Mn/Ca	39,00	26,25	67,29	106,00	51,58	48,65	ns	*
Mn/Mg	149,07	64,77	43,45	177,13	92,67	52,32	ns	*
Mn/S	237,33	130,85	55,13	422,06	286,71	67,93	ns	*
Mn/Zn	12,14	5,74	47,30	15,54	7,06	45,44	*	*
Mn/Fe	3,90	2,75	70,48	7,87	4,72	60,02	*	*
Mn/Cu	185,45	489,41	263,90	51,95	24,25	46,69	ns	*
Mn/B	4,63	2,89	62,27	14,20	9,22	64,95	*	*
Cu/N	0,20	0,13	63,43	0,34	0,17	49,85	*	*
Cu/P	2,45	1,55	63,26	3,47	1,81	52,15	*	*
Cu/K	0,41	0,30	72,74	0,62	0,30	47,92	*	ns
Cu/Ca	0,96	0,84	86,88	2,29	1,13	49,35	*	*
Cu/Mg	3,30	2,20	66,54	3,75	1,72	45,85	*	*
Cu/S	5,31	3,91	73,71	9,07	5,71	63,02	ns	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{1/}			Cunha (2010) ^{2/}			Geral vs Cunha (2010)	
	Média ^{3/}	s ^{4/}	CV ^{5/}	Média ^{3/}	s ^{4/}	CV ^{5/}	Y ^{6/}	s ^{2 7/}
Cu/Zn	0,27	0,18	66,51	0,36	0,31	88,17	*	*
Cu/Fe	0,09	0,07	80,40	0,17	0,13	75,29	*	*
Cu/Mn	0,02	0,02	72,89	0,03	0,02	88,89	*	*
Cu/B	0,10	0,08	76,16	0,29	0,16	54,83	*	*
B/N	2,28	0,93	40,88	1,24	0,33	26,29	*	*
B/P	28,42	12,27	43,16	12,73	3,52	27,66	*	*
B/K	4,70	2,23	47,47	2,35	0,88	37,23	*	*
B/Ca	9,37	6,39	68,14	8,62	2,99	34,66	*	*
B/Mg	36,72	14,91	40,60	13,79	3,68	26,69	*	*
B/S	57,50	27,10	47,13	34,00	19,56	57,52	<i>ns</i>	*
B/Zn	3,02	1,36	45,01	1,24	0,38	30,61	*	*
B/Fe	0,95	0,51	53,68	0,63	0,31	48,88	*	*
B/Mn	0,30	0,25	81,47	0,10	0,06	57,58	*	*
B/Cu	54,37	144,69	266,14	4,21	1,79	42,50	<i>ns</i>	*

^{1/}Normas gerais obtidas a partir de dados de análise nutricional e taxa de enraizamento considerando toda a população; ^{2/}Norma obtidas por Cunha (2010) para a Região do Vale do Rio Doce, MG; ^{3/}Média das nutrientes e suas relações diretas e inversas; ^{4/}desvio padrão da média; ^{5/} coeficiente de variação, expresso em %; ^{6/}Teste *t* para médias, *ns* e *, não significativo e significativo ($p < 0,05$); ^{7/}teste F, para a variância, *ns* e *, não significativo e significativo ($p < 0,05$); ^{8/}expresso em g/kg; ^{9/}expresso em mg/kg.

A alta frequência de observações significativas ($p < 0,05$) seja para o teste de médias (81,8 %) ou o teste de variâncias (94,2 %) indica que as normas obtidas para um viveiro florestal não são adequadas para o diagnóstico nutricional de minicepas cultivadas em outro viveiro distinto, indicando que estas possuem um baixo grau de universalidade.

A tabela 2 apresenta a frequência de diagnósticos concordantes (FDC) para as minicepas de eucalipto cultivadas na região do Extremo Sul da Bahia, utilizando as normas gerais ajustadas por Cunha (2010) e normas específicas para a região de estudo.

Foi observado um baixo grau de concordância entre diagnósticos, confirmando que as normas ajustadas por para um local não são adequadas para outras regiões. Apesar de que, as minicepas de eucalipto são cultivadas em canaletões, tendo areia como substrato. A baixa capacidade tampão deste substrato levaria à expectativa de que as normas geradas para minijardim teriam elevado grau de universalidade, podendo ser utilizadas com segurança em diversas regiões. Entretanto, o baixo grau de concordância observado nos diagnósticos indica que apesar do substrato normalmente ser o mesmo, o

manejo nutricional aplicado às minicepas possivelmente é muito distinto e tem elevada influencia na composição das normas. Há ainda de se considerar as diferenças entre os materiais genéticos, uma vez que para eucalipto é observada uma forte influência do fator genético na absorção e utilização de nutrientes (Santana et al., 2002; Faria et al., 2002; Lima et al., 2005).

Tabela 2. Frequência de amostras com diagnósticos concordantes (FDC) para as classes: deficiente, tendência à deficiência, suficiente, tendência à excesso e excesso pelos métodos IBKW e DRIS, e resposta a adubação: p, pz, z, nz e n pelo método PRA, entre normas para as regiões do Vale do Rio Doce (Cunha, 2010) e Extremo Sul da Bahia específicas para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B em minicepas de eucalipto.

Método	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Média Geral
	----- FDC ^{4/} (%) -----											
IBKW ^{1/}	71,31	31,41	62,31	18,51	12,22	81,66	26,15	84,21	18,34	41,26	16,13	42,14
DRIS ^{2/}	44,48	21,05	2,38	32,09	34,30	22,58	12,56	42,11	15,28	65,20	27,50	29,05
PRA ^{3/}	89,64	9,51	11,21	61,63	74,02	78,27	2,55	78,78	76,40	47,20	79,29	55,32

^{1/}Índice Balanceado de Kenworthy; ^{2/}Índice DRIS; ^{3/}Potencial de Resposta a Adubação (Wadt, 1996); ^{4/}Frequência de diagnósticos concordantes para uma mesma população considerando normas gerais e específicas.

A tabela 3 apresenta, para o minicepas em viveiro no Extremo Sul da Bahia, as normas DRIS (Beaufils, 1973) e IBKW (Kenworthy, 1961) para as condições gerais e específicas (verão e inverno), suas respectivas variâncias e sua significância ($p < 0,05$).

Nesse viveiro o manejo aplicado ao minijardim clonal é semelhante independente do material genético ou da época do ano. Esse procedimento é importante uma vez que permite a comparação das médias entre os subconjuntos de dados considerados.

Considerando as normas de IBKW, observa-se maior frequência de diferenças significativas entre médias do que variâncias, tanto na comparação entre as normas específicas com as normas gerais quanto entre as normas específicas, fato também observado por Fernandes (2010) em plantios jovens de eucalipto e Cunha (2010), que estabeleceu normas nutricionais para minicepas na região do Vale do Rio Doce (MG). Apenas as normas para os nutrientes Zn, B, Fe e Mn não foram significativas ($p > 0,05$) em nenhuma das comparações realizadas. Muito disso explica-se pelos elevados coeficientes de variação (CV) para essas normas, os maiores entre os nutrientes avaliados.

Tabela 3. Normas e teores foliares^{1/} de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B e suas relações duais (direta e inversa), para os métodos de IBKW e DRIS, em minicepas clonais de eucalipto, considerando normas gerais e específicas (Verão e Inverno) e suas comparações pelo teste *t* (médias) e F (variância).

Variável	Geral ^{2/}			Estação Inverno ^{3/}			Estação Verão ^{4/}			Geral vs Inverno ^{8/}		Geral vs Verão ^{8/}		Inverno vs Verão ^{8/}	
	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²
N	36,56	5,75	15,72	34,39	5,70	16,56	37,30	5,27	14,14	*	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>
P	2,96	0,58	19,46	2,64	0,46	17,37	3,09	0,55	17,83	*	*	*	<i>ns</i>	*	*
K	18,56	4,83	26,01	15,90	4,43	27,82	19,55	4,49	22,98	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>
Ca	11,45	6,33	55,33	15,91	6,35	39,90	9,83	5,45	55,42	*	<i>ns</i>	*	*	*	*
Mg	2,27	0,43	18,92	2,05	0,42	20,60	2,32	0,41	17,88	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>
S	1,62	0,73	44,82	2,08	1,01	48,22	1,46	0,49	33,45	*	*	*	*	*	*
Zn	28,98	10,65	36,74	31,32	10,79	34,45	27,73	7,51	27,08	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*
Fe	100,52	49,79	49,54	142,08	50,12	35,28	86,01	40,88	47,53	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*
Mn	334,80	150,68	45,01	322,93	144,35	44,70	335,23	149,09	44,47	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>
Cu	7,48	4,93	65,94	4,26	3,42	80,37	8,62	4,77	55,36	*	*	*	<i>ns</i>	*	*
B	80,78	30,21	37,40	72,96	24,51	33,59	82,93	31,38	37,84	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	*
N/P	12,83	4,24	33,01	13,42	4,06	30,26	12,47	3,69	29,63	<i>ns</i>	<i>ns</i>	<i>ns</i>	*	*	<i>ns</i>
N/K	2,13	0,83	38,98	2,35	0,91	38,80	2,04	0,74	36,24	*	<i>ns</i>	*	*	*	*
N/Ca	4,19	2,13	50,90	2,84	2,03	71,64	4,65	1,92	41,28	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>
N/Mg	16,56	3,38	20,41	17,37	4,25	24,48	16,43	2,95	17,93	*	*	<i>ns</i>	*	*	*
N/S	26,46	10,75	40,62	21,26	12,34	58,03	27,92	8,91	31,90	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	*	*
N/Zn	1,39	0,50	36,00	1,25	0,56	44,59	1,43	0,43	30,17	*	<i>ns</i>	*	*	*	*
N/Fe	0,44	0,21	46,97	0,28	0,14	47,74	0,50	0,20	40,67	*	*	*	<i>ns</i>	*	*
N/Mn	0,14	0,14	97,10	0,15	0,19	126,01	0,14	0,09	66,35	*	*	*	*	*	*
N/Cu	30,56	85,65	280,26	58,82	121,00	205,71	19,06	62,84	329,77	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*
N/B	0,51	0,21	41,14	0,54	0,26	47,77	0,51	0,19	37,34	*	*	*	*	*	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{2/}			Estação Inverno ^{3/}			Estação Verão ^{4/}			Geral vs Inverno ^{8/}		Geral vs Verão ^{8/}		Inverno vs Verão ^{8/}	
	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²
P/N	0,08	0,02	20,03	0,08	0,01	18,11	0,08	0,02	18,42	*	*	*	ns	*	ns
P/K	6,35	1,57	24,64	6,05	1,40	23,14	6,45	1,62	25,14	*	ns	*	ns	*	*
P/Ca	0,69	0,50	71,89	1,12	0,62	55,18	0,53	0,33	62,37	*	*	*	*	*	*
P/Mg	0,26	0,13	49,25	0,16	0,11	66,98	0,29	0,12	40,53	*	*	*	ns	*	ns
P/S	0,75	0,40	54,26	1,08	0,61	56,73	0,64	0,23	35,38	*	*	*	*	*	*
P/Zn	19,99	8,47	42,36	17,21	7,35	42,71	20,43	6,66	32,59	ns	*	ns	*	*	ns
P/Fe	3,59	1,58	44,06	4,70	1,43	30,38	3,20	1,43	44,62	*	ns	*	ns	*	ns
P/Mn	3,90	2,75	70,48	2,47	1,39	56,45	4,37	2,93	66,90	*	*	*	ns	*	*
P/Cu	0,02	0,02	72,89	0,01	0,01	91,87	0,03	0,02	63,17	*	*	*	ns	*	*
P/B	54,37	144,69	266,14	94,84	191,71	202,15	35,49	109,41	308,33	ns	*	ns	*	ns	*
K/N	0,52	0,14	26,45	0,47	0,12	25,14	0,53	0,14	25,52	*	*	*	ns	*	*
K/P	0,52	0,14	26,45	0,47	0,12	25,14	0,53	0,14	25,52	*	*	*	ns	*	*
K/Ca	2,11	1,12	53,17	1,29	0,89	69,53	2,41	1,05	43,42	*	*	*	ns	*	*
K/Mg	8,45	2,66	31,48	7,96	2,45	30,76	8,74	2,68	30,66	*	ns	*	ns	*	ns
K/S	13,51	6,11	45,24	9,72	5,82	59,82	14,78	5,73	38,75	*	ns	*	ns	*	ns
K/Zn	0,70	0,25	35,67	0,56	0,23	41,08	0,74	0,23	30,77	*	ns	*	ns	*	ns
K/Fe	0,22	0,11	48,25	0,13	0,06	49,18	0,26	0,10	38,91	*	*	*	ns	*	*
K/Mn	0,07	0,04	59,43	0,06	0,04	63,79	0,07	0,04	58,31	*	ns	*	ns	*	ns
K/Cu	13,26	36,85	277,91	23,93	50,93	212,79	8,53	26,33	308,74	ns	*	ns	*	ns	*
K/B	0,26	0,12	45,99	0,25	0,13	53,07	0,27	0,11	42,51	*	ns	*	ns	*	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{2/}			Estação Inverno ^{3/}			Estação Verão ^{4/}			Geral vs Inverno ^{8/}		Geral vs Verão ^{8/}		Inverno vs Verão ^{8/}	
	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²
Ca/N	0,34	0,23	69,05	0,49	0,26	51,59	0,28	0,18	66,59	*	ns	*	*	*	*
Ca/P	4,16	2,81	67,51	6,37	3,10	48,55	3,35	2,22	66,38	*	ns	*	*	*	*
Ca/K	0,69	0,50	71,89	1,12	0,62	55,18	0,53	0,33	62,37	*	*	*	*	*	*
Ca/Mg	5,32	3,35	62,97	8,06	3,43	42,58	4,40	2,77	62,92	*	ns	*	*	*	*
Ca/S	7,69	4,20	54,58	8,38	3,51	41,92	7,34	4,33	58,98	ns	*	ns	ns	*	*
Ca/Zn	0,42	0,24	56,34	0,52	0,17	32,63	0,38	0,24	62,48	*	*	*	ns	*	*
Ca/Fe	0,13	0,09	72,48	0,11	0,04	32,25	0,13	0,11	79,75	*	*	*	*	*	*
Ca/Mn	0,05	0,05	107,26	0,06	0,03	55,98	0,04	0,06	129,91	*	*	*	*	*	*
Ca/Cu	9,97	27,42	274,94	19,84	38,39	193,46	6,05	20,60	340,25	ns	*	ns	*	ns	*
Ca/B	0,16	0,10	62,97	0,24	0,10	42,62	0,14	0,10	68,88	*	ns	*	ns	*	ns
Mg/N	0,06	0,02	37,61	0,06	0,02	28,44	0,06	0,02	34,99	*	*	*	ns	*	*
Mg/P	0,80	0,26	32,49	0,80	0,23	28,92	0,78	0,24	31,09	*	ns	*	ns	*	ns
Mg/K	0,13	0,06	41,59	0,14	0,06	39,75	0,13	0,05	40,91	*	ns	*	ns	*	ns
Mg/Ca	0,26	0,13	49,25	0,16	0,11	66,98	0,29	0,12	40,53	*	*	*	ns	*	ns
Mg/S	1,66	0,79	47,69	1,26	0,70	55,25	1,75	0,67	38,51	*	ns	*	*	*	ns
Mg/Zn	0,09	0,03	34,19	0,07	0,03	37,17	0,09	0,03	31,53	*	ns	*	ns	*	ns
Mg/Fe	0,03	0,01	50,33	0,02	0,01	43,52	0,03	0,01	44,91	*	*	*	ns	*	*
Mg/Mn	0,01	0,01	72,89	0,01	0,01	92,09	0,01	0,01	59,44	*	*	*	*	*	*
Mg/Cu	1,69	4,42	262,07	2,86	5,63	196,59	1,10	3,38	307,45	*	*	*	*	*	*
Mg/B	0,03	0,01	44,84	0,03	0,02	49,83	0,03	0,01	41,19	*	ns	*	ns	*	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{2/}			Estação Inverno ^{3/}			Estação Verão ^{4/}			Geral vs Inverno ^{8/}		Geral vs Verão ^{8/}		Inverno vs Verão ^{8/}	
	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²
S/N	0,05	0,02	51,62	0,06	0,03	53,60	0,04	0,01	33,77	*	*	*	*	*	*
S/P	0,57	0,30	52,67	0,82	0,44	53,40	0,48	0,17	36,01	*	*	*	*	*	*
S/K	0,10	0,06	63,37	0,14	0,08	57,10	0,08	0,04	47,02	*	*	*	*	*	*
S/Ca	0,17	0,09	50,68	0,14	0,05	37,84	0,18	0,09	51,24	*	*	*	<i>ns</i>	*	*
S/Mg	0,75	0,40	54,26	1,08	0,61	56,73	0,64	0,23	35,38	*	*	*	*	*	*
S/Zn	0,06	0,02	39,77	0,07	0,03	38,77	0,05	0,02	37,23	*	*	*	*	*	*
S/Fe	0,02	0,01	48,15	0,02	0,01	47,23	0,02	0,01	45,54	*	*	*	<i>ns</i>	*	*
S/Mn	0,01	0,01	81,94	0,01	0,01	84,37	0,01	0,00	69,68	*	*	*	*	*	*
S/Cu	1,21	3,48	288,32	2,37	4,52	190,71	0,76	2,86	377,18	*	*	*	*	*	*
S/B	0,02	0,01	57,71	0,03	0,02	53,00	0,02	0,01	48,34	*	*	*	*	*	*
Zn/N	0,83	0,38	45,58	0,96	0,43	44,60	0,76	0,25	32,83	*	*	*	*	*	*
Zn/P	10,09	4,17	41,37	12,25	4,71	38,47	9,14	2,68	29,26	*	<i>ns</i>	*	*	*	*
Zn/K	1,70	0,86	50,45	2,16	1,09	50,26	1,50	0,60	40,20	*	*	*	*	*	*
Zn/Ca	3,14	1,65	52,33	2,22	0,99	44,58	3,42	1,47	43,02	*	*	*	*	*	*
Zn/Mg	13,14	5,16	39,24	15,70	5,70	36,30	12,24	3,70	30,25	*	<i>ns</i>	*	*	*	*
Zn/S	19,99	8,47	42,36	17,21	7,35	42,71	20,43	6,66	32,59	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	*	<i>ns</i>
Zn/Fe	0,33	0,16	48,04	0,23	0,08	32,25	0,36	0,15	41,29	*	*	*	<i>ns</i>	*	*
Zn/Mn	0,10	0,06	61,91	0,12	0,07	58,25	0,10	0,06	62,53	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>
Zn/Cu	18,46	45,80	248,05	35,07	64,25	183,21	11,12	30,89	277,75	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*	<i>ns</i>	*
Zn/B	0,40	0,22	54,85	0,48	0,24	49,52	0,37	0,17	44,26	*	<i>ns</i>	*	*	*	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{2/}			Estação Inverno ^{3/}			Estação Verão ^{4/}			Geral vs Inverno ^{8/}		Geral vs Verão ^{8/}		Inverno vs Verão ^{8/}	
	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²
S/N	0,05	0,02	51,62	0,06	0,03	53,60	0,04	0,01	33,77	*	*	*	*	*	*
S/P	0,57	0,30	52,67	0,82	0,44	53,40	0,48	0,17	36,01	*	*	*	*	*	*
S/K	0,10	0,06	63,37	0,14	0,08	57,10	0,08	0,04	47,02	*	*	*	*	*	*
S/Ca	0,17	0,09	50,68	0,14	0,05	37,84	0,18	0,09	51,24	*	*	*	ns	*	*
S/Mg	0,75	0,40	54,26	1,08	0,61	56,73	0,64	0,23	35,38	*	*	*	*	*	*
S/Zn	0,06	0,02	39,77	0,07	0,03	38,77	0,05	0,02	37,23	*	*	*	*	*	*
S/Fe	0,02	0,01	48,15	0,02	0,01	47,23	0,02	0,01	45,54	*	*	*	ns	*	*
S/Mn	0,01	0,01	81,94	0,01	0,01	84,37	0,01	0,00	69,68	*	*	*	*	*	*
S/Cu	1,21	3,48	288,32	2,37	4,52	190,71	0,76	2,86	377,18	*	*	*	*	*	*
S/B	0,02	0,01	57,71	0,03	0,02	53,00	0,02	0,01	48,34	*	*	*	*	*	*
Zn/N	0,83	0,38	45,58	0,96	0,43	44,60	0,76	0,25	32,83	*	*	*	*	*	*
Zn/P	10,09	4,17	41,37	12,25	4,71	38,47	9,14	2,68	29,26	*	ns	*	*	*	*
Zn/K	1,70	0,86	50,45	2,16	1,09	50,26	1,50	0,60	40,20	*	*	*	*	*	*
Zn/Ca	3,14	1,65	52,33	2,22	0,99	44,58	3,42	1,47	43,02	*	*	*	*	*	*
Zn/Mg	13,14	5,16	39,24	15,70	5,70	36,30	12,24	3,70	30,25	*	ns	*	*	*	*
Zn/S	19,99	8,47	42,36	17,21	7,35	42,71	20,43	6,66	32,59	ns	*	ns	*	*	ns
Zn/Fe	0,33	0,16	48,04	0,23	0,08	32,25	0,36	0,15	41,29	*	*	*	ns	*	*
Zn/Mn	0,10	0,06	61,91	0,12	0,07	58,25	0,10	0,06	62,53	*	ns	*	ns	*	ns
Zn/Cu	18,46	45,80	248,05	35,07	64,25	183,21	11,12	30,89	277,75	ns	*	ns	*	ns	*
Zn/B	0,40	0,22	54,85	0,48	0,24	49,52	0,37	0,17	44,26	*	ns	*	*	*	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{2/}			Estação Inverno ^{3/}			Estação Verão ^{4/}			Geral vs Inverno ^{8/}		Geral vs Verão ^{8/}		Inverno vs Verão ^{8/}	
	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²
Fe/N	2,90	1,78	61,42	4,39	2,10	47,95	2,35	1,13	48,31	*	ns	*	*	*	*
Fe/P	35,73	20,14	56,35	56,05	23,13	41,28	28,61	14,02	49,01	*	*	ns	*	*	*
Fe/K	6,03	4,20	69,70	9,82	4,99	50,83	4,66	2,77	59,53	*	*	*	*	*	*
Fe/Ca	10,40	5,50	52,91	9,92	4,06	40,90	10,55	5,94	56,31	ns	*	ns	ns	ns	*
Fe/Mg	45,74	23,88	52,20	71,49	28,06	39,26	37,56	16,61	44,23	ns	*	ns	*	*	*
Fe/S	67,28	30,51	45,35	78,10	32,17	41,19	62,07	25,63	41,29	ns	*	ns	*	ns	*
Fe/Zn	3,59	1,58	44,06	4,70	1,43	30,38	3,20	1,43	44,62	*	ns	*	ns	*	ns
Fe/Mn	0,36	0,27	73,55	0,53	0,33	61,76	0,30	0,20	65,05	*	*	*	*	*	*
Fe/Cu	86,31	239,75	277,76	170,78	324,63	190,09	51,46	184,34	358,20	ns	ns	ns	*	ns	*
Fe/B	1,37	0,82	59,47	2,12	0,97	45,63	1,12	0,51	45,80	*	ns	*	*	*	*
Mn/N	9,35	4,42	47,25	9,86	5,18	52,55	9,02	3,90	43,20	ns	*	ns	*	ns	*
Mn/P	115,59	62,50	54,07	122,87	53,68	43,68	109,89	52,69	47,95	ns	*	ns	*	ns	ns
Mn/K	19,25	10,66	55,37	21,44	11,34	52,92	18,10	9,39	51,86	ns	ns	ns	*	ns	*
Mn/Ca	39,00	26,25	67,29	25,64	22,08	86,11	43,53	25,99	59,69	ns	*	ns	ns	ns	*
Mn/Mg	149,07	64,77	43,45	158,95	70,16	44,14	145,37	60,55	41,65	ns	*	ns	ns	ns	*
Mn/S	237,33	130,85	55,13	197,04	132,03	67,01	245,76	114,60	46,63	ns	*	ns	*	ns	*
Mn/Zn	12,14	5,74	47,30	10,78	4,82	44,74	12,48	5,46	43,71	ns	*	ns	ns	*	ns
Mn/Fe	3,90	2,75	70,48	2,47	1,39	56,45	4,37	2,93	66,90	*	*	*	ns	*	*
Mn/Cu	185,45	489,41	263,90	357,30	717,06	200,69	113,92	321,42	282,13	ns	*	ns	*	ns	*
Mn/B	4,63	2,89	62,27	4,94	3,20	64,71	4,51	2,76	61,18	ns	*	ns	ns	ns	*

Continua

Continuação

Variável	Geral ^{2/}			Estação Inverno ^{3/}			Estação Verão ^{4/}			Geral vs Inverno ^{8/}		Geral vs Verão ^{8/}		Inverno vs Verão ^{8/}	
	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	Média ^{5/}	s ^{6/}	CV ^{7/}	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²	\bar{Y}	s ²
Cu/N	0,20	0,13	63,43	0,13	0,10	77,49	0,23	0,13	54,73	*	*	*	ns	*	*
Cu/P	2,45	1,55	63,26	1,58	1,18	74,89	2,76	1,53	55,42	*	*	*	ns	*	*
Cu/K	0,41	0,30	72,74	0,28	0,25	88,53	0,46	0,29	63,55	*	*	*	ns	*	*
Cu/Ca	0,96	0,84	86,88	0,37	0,46	125,01	1,17	0,83	70,43	*	*	*	ns	*	*
Cu/Mg	3,30	2,20	66,54	2,02	1,56	77,36	3,77	2,18	57,77	*	*	*	ns	*	*
Cu/S	5,31	3,91	73,71	2,62	2,83	107,84	6,26	3,77	60,22	*	*	*	ns	*	*
Cu/Zn	0,27	0,18	66,51	0,14	0,14	98,56	0,31	0,17	53,37	*	*	*	ns	*	*
Cu/Fe	0,09	0,07	80,40	0,03	0,03	100,28	0,11	0,07	64,50	*	*	*	ns	*	*
Cu/Mn	0,02	0,02	72,89	0,01	0,01	91,87	0,03	0,02	63,17	*	*	*	ns	*	*
Cu/B	0,10	0,08	76,16	0,07	0,08	122,94	0,11	0,06	58,88	*	ns	*	*	*	*
B/N	2,28	0,93	40,88	2,23	0,99	44,54	2,26	0,85	37,83	*	ns	ns	ns	ns	*
B/P	28,42	12,27	43,16	29,00	12,26	42,27	27,66	11,31	40,89	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B/K	4,70	2,23	47,47	4,97	2,16	43,54	4,50	2,08	46,25	*	ns	*	ns	*	ns
B/Ca	9,37	6,39	68,14	5,69	4,15	72,95	10,69	6,70	62,65	*	*	*	ns	*	*
B/Mg	36,72	14,91	40,60	36,63	13,45	36,72	36,74	15,06	40,99	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B/S	57,50	27,10	47,13	43,59	27,15	62,28	61,26	25,09	40,96	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B/Zn	3,02	1,36	45,01	2,56	1,17	45,71	3,15	1,38	43,67	*	*	*	ns	*	*
B/Fe	0,95	0,51	53,68	0,56	0,26	45,69	1,08	0,52	48,34	*	*	*	ns	*	*
B/Mn	0,30	0,25	81,47	0,29	0,31	105,18	0,30	0,18	61,73	*	*	*	*	*	*
B/Cu	54,37	144,69	266,14	94,84	191,71	202,15	35,49	109,41	308,33	ns	*	ns	*	ns	*

^{1/}Teores dos macronutrientes em g/kg e micronutrientes em mg/kg ^{2/}Normas obtidas a partir de dados de análise nutricional e taxa de enraizamento considerando toda a população; ^{3/}Norma obtidas com amostras de folha coletadas no período de Maio a Setembro; ^{4/}Normas obtidas com amostras de folhas coletadas no período de Outubro a Abril; ^{5/}Média das nutrientes e suas relações diretas e inversas; ^{6/}desvio padrão da média; ^{7/} coeficiente de variação, expresso em %; ^{8/}ns e *, não significativo e significativo (p < 0,05) pelo teste t, para a média, e pelo teste F, para a variância, respectivamente.

Considerando que as normas IBKW diferiram entre si em termos de média ou variabilidade, assim, o mais apropriado é que sejam adotadas normas específicas para o diagnóstico nutricional dos minijardins clonais da Veracel. Esses resultados diferem dos apresentados por Cunha (2010) que não encontrou diferenças entre normas considerando a estação do ano para minijardim clonal na região do Vale do Rio Doce.

Para as normas DRIS, e ainda considerando a tabela 7, as médias das normas específicas diferiram em uma frequência alta das normas gerais (75,5 %, para a comparação Geral *vs* Inverno e 72,7 % para a comparação Geral *vs* Verão) e também entre si (80,9 %). Para o teste de igualdade de variâncias das normas calculadas para o inverno diferiram das gerais em 67,3 % dos casos; as normas para verão diferiram da geral em 50 % dos casos e a comparação entre as estações apresentaram variâncias diferentes em 77,3 % das relações duais.

Essa alta frequência de diferenças significativas entre normas específicas e gerais também foram observadas em outros trabalhos (Silva, 2001; Rocha, 2008; Cunha, 2010; Fernandes, 2010) e claramente indicam a necessidade de obter normas que melhor refletem as condições, sejam elas climáticas, de manejo nutricional ou de material genético, as quais as plantas são cultivadas. Por outro lado, esses resultados contrariam a observação de Beaufils (1973), de que as normas possuem alto grau de universalidade, apresentando independência de fatores como material genético, idade da planta, órgão amostrado e outros.

Fernandes (2010) lembra que Beaufils propôs o método DRIS no início da década de 70, nessa época a análise de tecido vegetal era realizado apenas para os nutrientes N, P e K, nutrientes estes que tem em comum uma grande mobilidade no floema, o que por sua vez reduz o efeito do crescimento sobre os teores desses nutrientes, garantindo as normas um elevado grau de universalidade.

As relações duais envolvendo os macronutrientes, independente de sua mobilidade no floema, apresentaram uma maior frequência de diferenças significativas do que as que envolvem os micronutrientes, principalmente o Mn. Vale ressaltar que este foi o nutriente que apresentou o maior coeficiente de variação, o que possivelmente influenciou na sensibilidade do teste *t* para a detecção de diferenças significativas.

Outro ponto interessante é a alta frequência de diferenças significativas entre as normas geradas para o inverno e verão. Apesar da baixa variação de temperatura média no Extremo Sul da Bahia ao longo do ano, ocorre uma forte redução no número de horas com luz solar, ou seja, os dias no inverno são em média 1,09 hora mais curtos que no verão, resultado contrário ao encontrado por Cunha et al. (2010) que não observou uma correlação significativa entre a disponibilidade de luz e a taxa de enraizamento de clone de eucalipto no Vale do Rio Doce.

Apesar dos resultados acima indicarem uma diferença entre as normas obtidas para as estações do ano e as normas gerais, na prática a diferença entre os diagnósticos torna-se mais importante (Silva et al., 2005). Um baixo grau de universalidade das normas não é indicativo de que a concordância entre os diagnósticos também seja pequena, tendo em vista que na avaliação das normas é considerado apenas um valor, enquanto na frequência de diagnósticos concordantes leva-se em consideração uma faixa de valores, aumentando a probabilidade de concordância (Cunha, 2010).

A comparação entre os resultados dos diagnósticos obtidos pelos métodos IBKW, DRIS e PRA (Wadt, 1996) quando são utilizadas as normas obtidas para uma condição geral contra aquelas obtidas para uma condição mais específica indica o grau de universalidade dos diagnósticos. Uma frequência de diagnósticos concordantes (FDC) igual a 100 % indica que apesar das normas serem numericamente ou estatisticamente diferentes elas indicam o mesmo status nutricional de uma determinada planta ou população de plantas.

Para as normas de Verão a FDC foi em média igual a 87,8 %, 74,7 %, 70,7 % para os métodos IBKW, DRIS e PRA, respectivamente (Tabela 4). Já no Inverno as médias de FDC foram iguais a 69,7 %, 64,8 % e 75,7 % (Tabela 4). Os valores da média geral de FDC, todos acima de 60 %, podem ser considerados baixos uma vez que seu complemento para 100 % indica a proporção de erro que se está sujeito ao utilizar as normas gerais e por isso pode-se considerar que as normas específicas levam a diagnósticos distintos das normas gerais.

Tabela 4. Frequência de amostras com diagnósticos concordantes (FDC) para as classes: deficiente, tendência à deficiência, suficiente, tendência à excesso e excesso pelos métodos IBKW^{2/} e DRIS^{3/}, e resposta a adubação: p, pz, z, nz e n pelo método PRA^{4/}, entre normas específicas (estação fria e quente e normas gerais) para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B em minicepas de eucalipto cultivadas no Extremo Sul da Bahia.

		N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Média Geral
		----- FDC ^{6/} (%)-----											
Estação Quente ^{1/} n = 342	IBKW ^{2/}	95,2	91,0	89,1	68,4	93,9	84,1	91,5	75,6	98,9	83,3	94,7	87,8
	DRIS ^{3/}	79,6	77,2	87,5	63,7	78,2	66,6	76,7	59,7	81,4	74,5	78,8	74,9
	PRA ^{4/}	86,7	56,5	19,9	67,4	80,4	74,5	81,2	78,2	73,7	79,3	79,6	70,7
Estação Fria ^{5/} N = 119	IBKW ^{2/}	85,7	74,8	66,4	64,7	71,4	67,2	77,3	39,5	92,4	52,9	75,6	69,8
	DRIS ^{3/}	73,1	68,9	89,1	25,2	75,6	53,8	76,5	19,3	83,2	93,3	54,6	64,8
	PRA ^{4/}	92,4	43,7	39,5	66,4	91,6	74,8	94,1	67,2	92,4	86,6	84,0	75,7

^{1/}entre outubro a abril; ^{2/}Índice Balanceado de Kenworthy; ^{3/}Índice DRIS; ^{4/}Potencial de Resposta a Adubação (Wadt, 1998); ^{5/}entre maio a setembro; ^{6/}Frequência de diagnósticos concordantes para uma mesma população considerando normas gerais e específicas.

Na comparação para cada nutriente dentro dos métodos de diagnóstico utilizados neste trabalho, não foi observado um padrão, entretanto pode-se afirmar que o uso de normas específicas traz maior confiabilidade para o diagnóstico nutricional para todos os nutrientes avaliados.

O diagnóstico do status nutricional pelo método PRA (Wadt, 1996) possibilita a verificação da chance de resposta à adubação com o nutriente diagnosticado como desequilibrado por falta. Para isso, a concordância entre as classes de resposta p + pz (nutrientes limitantes por falta) é bastante útil, uma vez que permite a correção por meio da adição do respectivo nutriente (Silva et al., 2005). Assim, realizou-se o agrupamento das duas classes extremas por falta (p e pz) ou por excesso (n e nz) do potencial de resposta à adubação, em classes de status nutricional: limitante por falta (LF) e limitante por excesso (LE), respectivamente e a classe z foi enquadrada como não limitante (NL) (Tabela 5).

Observando os dados na tabela 5 percebe-se que Cu foi o nutriente mais limitante por falta, independente da estação do ano, seguido pelo P para a estação quente e Mg para a estação fria. Também independente da estação do ano, o K foi o elemento que apresentou maior limitação por excesso, indicando a necessidade de maior parcelamento das doses aplicadas desse elemento.

Tabela 5. Frequência de diagnósticos nas classes limitantes (LF), não limitantes (NL) e excessivo (LE) obtidos pelo método de diagnóstico do PRA, considerando duas estações do ano para minicepas de eucalipto cultivadas na região do extremo sul da Bahia.

		N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		----- Frequência ^{6/} (%)-----										
Estação quente ^{1/} n = 342	LF ^{3/}	3,2	37,4	0,9	23,4	18,4	23,7	13,5	2,3	3,5	58,2	13,2
	NL ^{4/}	93,3	37,7	18,7	71,1	78,1	70,2	78,7	84,2	76,6	39,5	76,3
	LE ^{5/}	3,5	24,9	80,4	5,6	3,5	6,1	7,9	13,5	19,9	2,3	10,5
Estação Fria ^{2/} n = 119	LF ^{3/}	10,1	18,5	-	13,4	27,7	9,2	0,8	4,2	4,2	84,9	5,0
	NL ^{4/}	89,1	42,9	26,9	76,5	70,6	82,4	93,3	89,1	86,6	14,3	86,6
	LE ^{5/}	0,8	38,7	73,1	10,1	1,7	8,4	5,9	6,7	9,2	0,8	8,4

^{1/}período entre os meses de outubro a abril; ^{2/} período entre os meses de maio a setembro; ^{3/} LF – nutriente limitante por falta, agrupamento das classes p + pz; ^{4/} NL – nutriente não limitante, classe z; ^{5/}LE – nutriente limitante por excesso, agrupamento das classes nz + n; ^{6/}frequência de observações em relação ao total de dados disponíveis para estação do ano considerada.

A observação do Cu como nutriente mais limitante pode indicar uma necessidade de ajuste das doses aplicadas deste nutriente, ou a troca da fonte de nutriente, uma vez que os nutrientes são fornecidos via fertirrigação, a fonte de Cu pode não estar solubilizando totalmente na solução nutritiva limitando a disponibilidade de Cu para o correto crescimento da minicepa de eucalipto.

Um dos pontos de sucesso na produção de mudas clonais de eucalipto começa na obtenção e manutenção de cepas vigorosas e produtivas. Plantas que tenham um balanço nutricional adequado são mais propensas a produzir um número adequado de estacas e essas estacas por sua vez tem maior taxa de enraizamento, o que reduz o custo de produção da muda. A obtenção de normas nutricionais para a fase de minijardim caminha neste sentido, o de buscar os ajustes necessários para alcançar o equilíbrio nutricional. Entretanto, ainda resta o trabalho de se obter normas adequadas para as fases seguintes da produção da muda, de crescimento e aclimação chegando a expedição da muda, o que por sua vez tem uma grande importância.

CONCLUSÕES

- As normas DRIS e IBKW para minicepas de eucalipto diferiram sensivelmente entre viveiros avaliados, sendo recomendado o uso de normas estabelecidas para os viveiros onde elas serão aplicadas.
- As normas DRIS e IBKW ajustadas para minicepas de eucalipto se mostraram sensíveis à estação do ano.
- O uso de normas específicas, que leva em consideração a estação do ano, se mostrou mais adequada que normas gerais
- O uso de métodos diagnósticos além de permitir avaliar o equilíbrio e balanço nutricional de minicepas de eucalipto também é útil para indicar a necessidade de possíveis ajustes na solução nutritiva dos minijardins clonais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H. & LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no sistema integrado de diagnose e recomendação – DRIS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba. Anais... Piracicaba: s.n, p.186-188, 1992.
- ALVAREZ V., V.H. & LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. v.24, n.1, p.20-25, 1999. (Boletim informativo - SBCS).
- ASSIS, T. F.; FETT-NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwood with emphasis on Eucalyptus. In: WALTER. C.; CARSON, M. Plantation forest biotechnology for the 21th century. New Delhi: Research Sign Post, 2004. v.1 p.303-333.
- ASSIS, T.F.. Evolution of technology for cloning Eucalyptus in large scale. In Developing the Eucalypt of the Future. IUFRO International Symposium, Valdivia, Chile. CD-ROM communication, pp 1–16. 2001.
- BALDOCK, J.O. & SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. Agronomy Journal 88:448-456, 1996.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation. A review. Soil Science 112: 116-130, 1971.
- BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Soil Sci. Bull. 1. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. 1973. 132p

- BEVERLY, R.B.; HALLMARK, W.B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23:2633-2640, 1992.
- CUNHA, A. C. M. C. C., PAIVA, H. N., LEITE, H. G., BARROS, N. F. D., & LEITE, F. P.. Relation of climate variables with eucalypt minicutting production and rooting. *Revista Árvore*, 33(2):195-203. 2009c
- CUNHA, A.C.M.C.M. Diagnose nutricional de minicepas e previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto por redes neurais. Viçosa, MG, UFV. 2010. (Tese de Doutorado).
- CUNHA, A.C.M.C.M., PAIVA, H.N., BARROS, N.F., LEITE, H.G., LEITE, F.P. Relação do estado nutricional de minicepas com o número total de miniestacas de eucalipto. *Scientia Florestalis*, 36:203-213, 2008.
- CUNHA, A.C.M.C.M., PAIVA, H.N., BARROS, N.F., LEITE, H.G., LEITE, F.P. Relação do estado nutricional de minicepas no enraizamento de miniestacas de eucalipto. *Rev. Brasileira de Ciência do Solo* 33:591-599, 2009b
- CUNHA, A.C.M.C.M., PAIVA, H.N., BARROS, N.F., LEITE, H.G., LEITE, F.P. Influência do estado nutricional de minicepas no enraizamento de miniestacas de eucalipto. *Revista Árvore* 33:607-615, 2009a
- FARIA, G. E.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; TEIXEIRA, J. L. Produção e estado nutricional de povoamentos de *E. grandis*, em segunda rotação, em resposta à adubação potássica. *Revista Árvore*, 26(5):577-584, 2002.
- FERNANDES, L.V. Normas e determinação de faixas de suficiência para a diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto. Viçosa, MG, UFV, 2010 (Dissertação de Mestrado).
- HARTMANN, H.T. & KESTER, D.E. *Plant propagation: principles and practices*. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 727 p. 1983.
- JONES, C.A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) of interpreting plant analysis. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 22: 785-794, 1981.

- KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: REUTHER, W. Plant analysis and fertilizers problems. Washington: American Institute of Biological Science, p. 28-43, 1961.
- KURIHARA, C.H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose do seu estado nutricional. Viçosa, MG, UFV, 2004. (Tese de Doutorado).
- LEAF, D.L. Plant analysis as na aid in fertilizing forests. In: WASH, L.M.; BEATON, J.D. Soil testing and plant analysis. Madison, Soil Sci. Amer. Soc. p.427-454, 1973.
- LIMA, A. M. N.; NEVES, J. C. L.; SILVA, I. R.; LEITE, F. P. Cinética de absorção e eficiência nutricional de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} em plantas jovens de quatro clones de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:903-909, 2005.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Ed. AcademicPress, San Diego, 889 p. 1995.
- MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G. & SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G. & ALVAREZ V., V.H. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5a Aproximação). Viçosa, CFSEMG, p. 143 – 168. 1999.
- ROCHA, J.B. Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Viçosa, MG, UFV, 2008. (Dissertação de Mestrado).
- SANTANA, R. C.; BARROS, N. F.; NEVES, J. C. L. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *E. grandis* e *E. saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. Revista Árvore, 26(4): 447-457, 2002.
- SCHAWAMBACH, J.; FADANELLI, C.; FETT- NETO, A. G. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. Tree Physiology, 25:487-494, 2005.

- SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V. H. & LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:755-761, 2005.
- SILVA, G.G.C. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 132p. (Tese de Mestrado).
- SUMMER, M.E. Use of DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 8:251-268, 1977.
- WADT, P.G.S. Nutritional status of *Eucalyptus grandis* clones evaluated by critical level and DRIS methods. *Revista Árvore*, 28:15-20, 2004.
- WADT, P.G.S. Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Viçosa-MG. Universidade Federal de Viçosa, 1996. 123p.
- WADT, P.G.S., NOVAIS, R.F., BARROS, N.F., ALVAREZ V., V.H., FONSECA, S., Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos DRIS e Chance Matemática. *Rev. Brasileira de Ciência do Solo*. 22:685-692. 1998.

CAPÍTULO II

DIAGNOSE NUTRICIONAL DE FLORESTAS JOVENS DE EUCALIPTO

RESUMO

Em áreas ocupadas por florestas de eucalipto, normalmente de baixa fertilidade, o uso de metodologias que visam diagnosticar o estado nutricional das plantas por meio da análise química de tecidos, contribui para a manutenção, em níveis elevados, da produtividade florestal, sendo ferramenta complementar a análise de solo. Neste sentido o Sistema Integrado de Recomendação e Diagnose (DRIS) e o Índice Balanceado de Kenworthy (IBKW) vêm sendo utilizados para como ferramentas de diagnóstico e manejo nutricional em florestas plantadas. Assim o objetivo deste trabalho foi obter normas nutricionais para plantios jovens de eucalipto e verificar sua universalidade, bem como avaliar diferentes estratégias de obtenção das normas. A população de referência foi obtida com base nas parcelas que mantiveram seu crescimento próximo ao potencial de crescimento, estimado pelo modelo ecofisiológico 3PG. As normas obtidas a partir dessa população de referência se mostraram mais eficazes ao diagnóstico nutricional diferindo das normas padrão (obtidas com base na população de alta produtividade com um ano de idade) a uma frequência de 71 % para as variâncias e 61 % para as médias. Utilizando essas normas para o diagnóstico nutricional da população de baixa referência obteve-se que a ordem decrescente de limitação nutricional foi $Ca > Fe > Cu > S > P > B > N > K > Mn > Mg > Zn$. Conclui-se que em plantios jovens de eucalipto o uso de parcelas que apresentam crescimento próximo ao potencial é mais adequado para a composição da população de referência e como consequência das normas nutricionais.

ABSTRACT

In areas occupied by eucalyptus forests, usually of low fertility, the use of methodologies that aim to diagnose the nutritional status of plants through chemical analysis of tissues helps to maintain, at high levels, forest productivity, and is a complementary tool to soil analysis. The Integrated Diagnosis and Recommendation System (DRIS) and the Index of Balanced Kenworthy (IBKW) have been used as tools for diagnosis and nutritional management in planted forests. Thus, the aim of this study was to obtain nutritional norms for young plantations of eucalyptus and verify its universality and evaluate different strategies to raise standards. The reference population was obtained based on the plots that kept its growth close to potential, estimated by ecophysiological model 3PG. The rules derived from this reference population were more effective in diagnosis of differing nutritional standards norms (obtained based on the population of high productivity with one year of age) at a frequency of 71% for variances and 61% for medium . Using these norms for the diagnosis of low nutritional reference was found that the decreasing order of nutrient limitation was Ca> Fe> Cu> S> P> B> N> K> Mn> Mg> Zn. It is concluded that in young plantings eucalyptus the use of plots that have growth potential is close to the most suitable composition of the reference population and as a result of nutritional norms.

INTRODUÇÃO

Em áreas ocupadas por florestas de eucalipto, normalmente de baixa fertilidade, o uso de metodologias que visam diagnosticar o estado nutricional das plantas por meio da análise química de tecidos, contribui para a manutenção, em níveis elevados, da produtividade florestal, sendo ferramenta complementar a análise de solo.

Tradicionalmente, as avaliações nutricionais são realizadas com base no nível crítico, conceituado como o teor de um dado nutriente, acima do qual há baixa probabilidade de resposta à sua adição (Bates, 1971). Entretanto, o uso do nível crítico na avaliação do estado nutricional é passível de questionamento, uma vez que o mesmo não permite definir se a deficiência é aguda ou não; se o nutriente é o mais limitante, no caso que mais de um nutriente é classificado como deficiente (Baldock & Schulte, 1996). Além disso, o teor de um nutriente no tecido está sujeito aos efeitos de diluição ou de concentração, ocasionados pelas variações na quantidade de matéria seca produzida (Jarrel & Beverly, 1981).

Como alternativa aos métodos clássicos de avaliação do estado nutricional das plantas, tem-se utilizado, visando melhorar a definição e interpretação do estado nutricional das plantas, métodos de diagnose, tais como: os Índices Balanceados de Kenworthy, IBKW (Kenworthy, 1961) e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação, DRIS (Beaufils, 1973). Esses métodos podem ser utilizados como ferramentas complementares no auxílio do manejo nutricional, aprimorando a definição e interpretação do status nutricional (Wadt, 2004), sendo ferramentas de auxílio da interpretação de resultados de análise de solo.

O método IBKW avalia o balanço nutricional por meio do desvio, em porcentagem, do teor de um dado nutriente em relação à norma. Na obtenção desses índices, são considerados os coeficientes de variação estimados para cada um dos

nutrientes na população onde se obteve a norma (Cunha, 2010). Esse método permite a determinação de uma faixa de suficiência (situada entre os valores de IBKW iguais a 83 a 117 %) e o teor ótimo, ou seja, o índice balanceado igual a 100 %, sem a necessidade de instalação e condução de uma vasta rede de experimentos de adubação.

Para estabelecer o diagnóstico nutricional pelo índice DRIS, efetua-se o relacionamento dos teores dos nutrientes dois a dois, na forma direta e inversa, tomando-se como base o fato de que o teor ótimo corresponde ao valor de índice que representa o equilíbrio nutricional, ou seja, zero. Buscando uma interpretação mais global dos resultados dos índices DRIS Wadt (1996) propôs o cálculo do Índice de Balanço Nutricional médio (IEN_m) que fornece uma ideia do balanço global do equilíbrio nutricional das plantas, considerando todos os nutrientes envolvidos na obtenção dos índices DRIS. Quanto mais próximo de zero é o valor de IEN_m mais equilibrada nutricionalmente está a população de plantas.

Essas ferramentas de monitoramento nutricional tem sido ajustada e utilizada para as mais diversas culturas de ciclo curto (Mackay et al., 1987; Rodrigues & Besga, 1989; Angeles et al., 1990; Sanchez et al., 1991; Hanson, 1991, Kurihara, 2004; Serra et al., 2012) e perenes ou de ciclo longo (Svenson & Kimberley, 1988; Leite, 1993; Costa 1995; Wadt, 1996; Silva et al., 2005; Rocha, 2008; Fernandes, 2010; Camacho et al., 2012; Wadt et al., 2012).

A análise conjunta dos métodos DRIS e IBKW (Rocha, 2008; Cunha, 2010) permite avaliar o estado nutricional das plantas, harmonizando equilíbrio e balanço, definindo com mais acurácia excessos ou deficiências de nutrientes. Ainda, a compreensão dos princípios considerados por diferentes métodos de diagnose, bem como a comparação de seus resultados, é importante para a comparação criteriosa dessas ferramentas de análise (Silva et al., 2005).

O sucesso no uso dos métodos de diagnose DRIS e IBKW no monitoramento do estado nutricional de uma população de plantas está associado à obtenção de normas representativas. Normas são valores de teores nutricionais e/ou relações nutricionais consideradas referências e que melhor expressam o balanço e equilíbrio nutricional de um determinado grupo de plantas que idealmente representam as condições adequadas ou desejáveis da cultura denominada população de referência (Alvarez V. & Leite, 1992).

Segundo Beaufils (1973) a população de plantas utilizada na geração das normas para a diagnose nutricional deve refletir toda a variabilidade dos teores de nutrientes. Mas, no ajuste de normas nutricionais para o eucalipto (Wadt, 1996, Silva, 2001, Rocha, 2008, Fernandes, 2010, Cunha, 2010) tem sido utilizada a seleção de parcelas com alta produtividade. Neste caso, pressupõe-se que o valor médio dos nutrientes e suas relações duais estejam mais próximos do ótimo fisiológico (Wadt, 1996).

A pressuposição de que as normas devem abranger toda a variabilidade dos teores nutricionais e suas relações duais dão as mesmas um alto grau de universalidade. Beaufils (1973), no caso do DRIS, preconiza que um dos pontos centrais de um sistema baseado nas relações entre nutrientes é a relativa constância entre as relações, comparativamente aos teores de cada nutriente, considerados isoladamente, como também em relação à idade do tecido e seu teor de água.

Entretanto, trabalhos realizados para florestas jovens de eucalipto demonstraram que as normas específicas apresentaram maior grau de acurácia no diagnóstico que normas gerais (Rocha, 2008; Fernandes, 2010). Esses resultados refletem o acerto da recomendação de Black (1993), no sentido de que normas gerais devam ser utilizadas apenas na ausência de norma específicas.

A escolha das parcelas que compõem a população de alta produtividade em florestas jovens de eucalipto tem se baseado principalmente no crescimento (com base em altura ou diâmetro) dessas florestas no momento em que é realizado a coleta de material para análise, o que normalmente ocorre entre os 6 a 18 meses (Rocha, 2008; Fernandes et al., 2009; Fernandes, 2010). A avaliação nutricional nesta idade permite uma identificação precoce de desvios nutricionais, permitindo que os mesmos sejam corrigidos, evitando-se perdas de produtividade. A utilização de plantas com maior crescimento inicial para compor a população de referência geradora da norma pode não ser suficiente tendo em vista o crescimento futuro, ou seja, a produtividade da floresta na idade de corte ou em idades mais próximas às do corte. Assim, é de se esperar que parcelas que mantenham um nível elevado de produtividade durante todo o ciclo crescimento sejam as mais adequadas para a composição da população de referência e como consequência as mais adequadas para a obtenção de normas a serem utilizadas no diagnóstico nutricional de plantios jovens de eucalipto pelos métodos DRIS e Kenworthy.

Este trabalho teve como objetivos: obter normas para florestas jovens de eucalipto na região do Extremo Sul da Bahia e avaliar diferentes estratégias para a definição da população de referência.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O local de estudo abrange uma área de nove municípios do Extremo Sul da Bahia (Eunápolis, Itabela, Porto Seguro, Itagimirim, Guaratinga, Itapebi, Mascote, Belmonte, Santa Cruz de Cabrália) localizada dentro do polígono entre as latitudes 39 e 40° W e as longitudes 15,2 e 16,2° N (Figura 1).

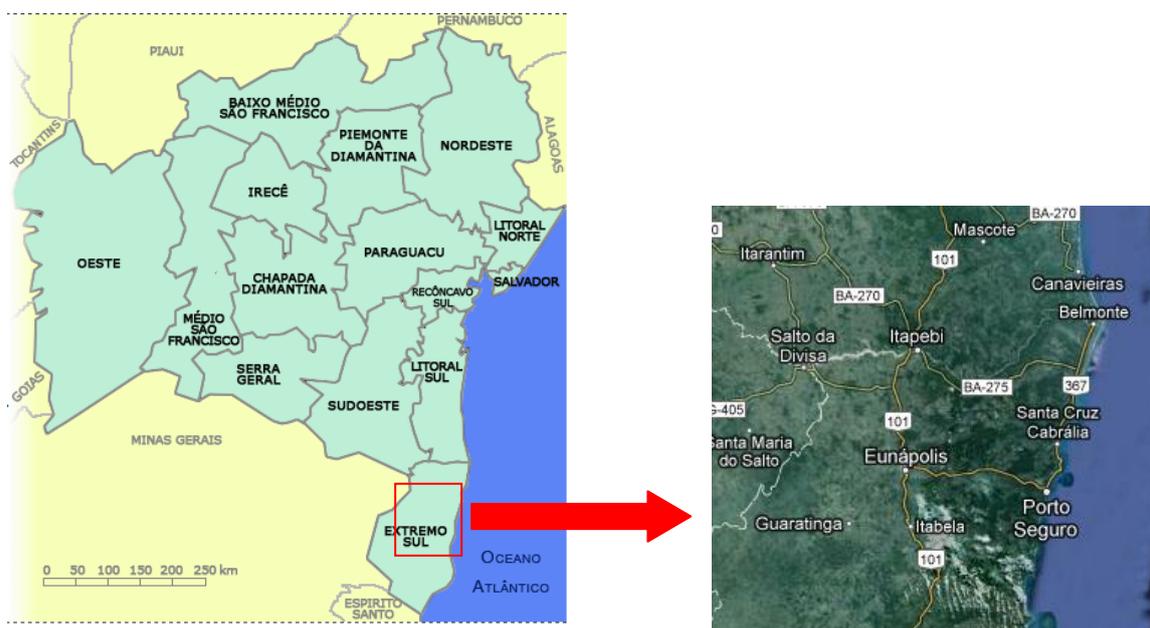


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo com realce dos municípios abrangidos por plantios de eucalipto.

O clima da região, segundo Köppen, é classificado como Am e Af (tropical úmido sem estação seca pronunciada) com precipitação média em torno de 1.545 mm e

temperaturas variando entre 19,1 °C a 27,6. O detalhamento da distribuição de chuvas e temperaturas durante o ano pode ser observada na Quadro 1.

Quadro 1. Precipitação pluvial média, número médio de dias com evento de chuva, temperatura máxima e mínima na área de estudo. Os dados climáticos correspondem ao período de jan/2005 a dez/2011 obtidos por uma rede de 11 estações meteorológicas distribuídas na área de estudo.

Mês	Precipitação	Número de dias com precipitação no mês	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Fotoperíodo --hora/dia--
	--- mm ---		----- °C -----		
Jan	98,09	12	29,51	21,44	13,0
Fev	98,11	12	29,65	21,55	12,7
Mar	187,48	15	29,87	21,72	12,2
Abr	247,15	14	28,61	21,09	11,7
Mai	109,48	10	26,84	19,52	11,4
Jun	103,39	13	25,45	18,23	11,2
Jul	87,43	14	25,11	17,64	11,2
Ago	73,83	14	25,55	17,80	11,6
Set	59,24	11	26,33	18,33	12,0
Out	150,94	13	27,50	19,86	12,4
Nov	200,39	15	27,73	20,54	12,9
Dez	129,79	12	29,01	21,25	13,1
Total	1.545,33		27,60	19,91	12,12

Obtenção da População de Referência para Florestas Jovens de Eucalipto

Para a realização deste trabalho foram utilizadas informações de 1.282 parcelas de inventário contínuo em floresta de eucalipto clonais (Clones “Urograndis”) coletadas no período de 2005 a 2011.

Na área abrangida por esse estudo ocorre predominância de Argissolos Amarelos característicos da Formação Barreiras formadas principalmente por sedimentos argilo/arenosos com relevo predominante de Tabuleiros Costeiros variando de plano o suave ondulado, com a predominância de platôs cortados por vales profundos em “V”. Há também a ocorrência de Latossolos Amarelo e Latossolos Vermelho-Amarelo, pertencentes ao Complexo-Cristalino de relevo variando de suave ondulado a ondulado.

Para o monitoramento do status nutricional das florestas, é realizada na idade de um ano a coleta de amostras de folhas em 50 % das parcelas de inventário contínuo, ou seja, uma amostra a cada 30 ha. São retiradas amostras do terceiro par de folhas no terço médio de 50 % das plantas da parcela, num total de 11 plantas/parcela (Figura 2). Após

a coleta, as folhas são secas em estufa de circulação forçada a 65 °C até peso constante e então enviadas para laboratório para determinação dos teores totais de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B.

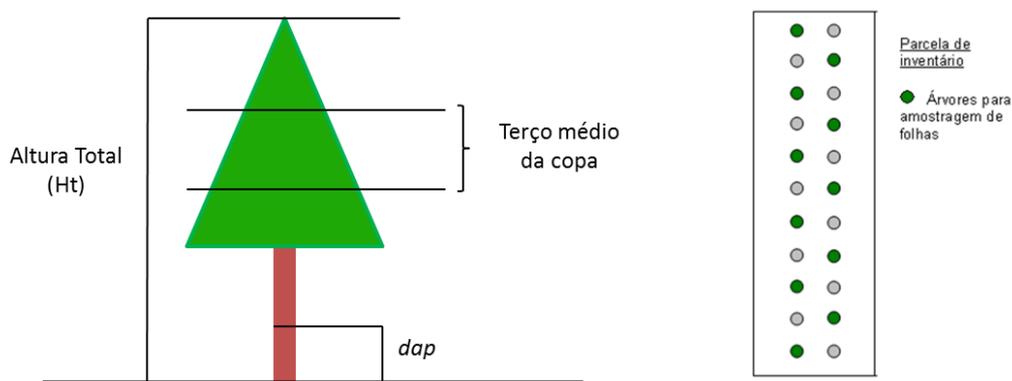


Figura 2. Representação esquemática das árvores e da parcela de inventário para a coleta de folhas.

Além da coleta de folhas, também são registrados os valores de *dap* (diâmetro a 1,3 m de altura) e Ht (Altura total). A coleta de folhas na parcela de inventário é uma estratégia interessante, uma vez que permite acompanhar o crescimento da floresta e obter relacionamentos confiáveis entre a produtividade e o status nutricional daquele grupo de árvores.

Foram obtidas estimativas de produtividade potencial (Volume de Tronco, m³/ha) para florestas distribuídas em 34 áreas representativas, com auxílio do modelo ecofisiológico baseado em processo 3-PG (Landsberg & Warring, 1997; Sands & Landsberg, 2002) e utiliza parâmetros relacionados à planta, ao solo e ao clima para gerar estimativas de potencial produtivo para um determinado sítio ao longo do crescimento da floresta. Após a obtenção das estimativas de crescimento potencial, estas foram divididas em três grupos (três ambientes), assim foi possível considerar grande parte da variação edafoclimática que influencia no crescimento. A seguir, com base na estimativas de potencial, foram ajustadas modelos de regressão, para cada um dos três ambientes, entre os valores de produtividade potencial em função da idade.

Atualmente a empresa utiliza em seu programa de monitoramento nutricional como critério de seleção da população de referência as parcelas que apresentam crescimento superior na idade em que é feito a coleta de folhas, ou seja, quando as

árvores têm aproximadamente um ano de idade. Neste trabalho, este critério foi considerado como o padrão da empresa. Sendo assim, para um total de 1.282 parcelas com base na informação de *dap* corrigido (*dap_corr*) pela idade (cm/ano) foi selecionada uma população de referência cujos valores de *dap_corr* foram superiores a média + 0,5s. Dessa população foram derivadas as normas nutricionais que são atualmente utilizadas no monitoramento nutricional das florestas de empresa (Estratégia A).

Do total de parcelas disponíveis do monitoramento nutricional (1.282), foi utilizado um subconjunto de 500 parcelas, que dispunham além da informação da análise nutricional foliar, realizada na idade de um ano, também da informação de crescimento em volume nas idades de um, dois, três e quatro anos. Cada uma destas parcelas, com base na sua localização nas áreas da empresa, foi relacionada a uma curva potencial que melhor representa o ambiente na qual está inserida. Todas as parcelas receberam adubação fosfatada no momento do plantio e uma adubação de cobertura (N + K) aos seis meses de idade. Após essa data não foram realizadas nenhuma outra intervenção com fertilizantes na área.

Então, para cada uma das 500 parcelas foi obtido um fator de aproximação entre a produtividade real nas idades de um a quatro anos (obtida via inventário florestal) e a produtividade potencial (estimada pela equação de regressão). Esse fator foi obtido pelo quociente entre produtividade real (m^3/ha) e potencial (m^3/ha).

Esse procedimento permitiu a obtenção de três populações distintas, as parcelas de alta produtividade (AP), cujo fator de aproximação se situaram acima do valor da média + 0,5s, ou seja, aquelas parcelas que tem seu crescimento muito próximo ao potencial estimado, as parcelas de baixa produtividade (BP) formadas pelas parcelas com produtividade cujo fator de aproximação é menor que a média - 0,5s e um grupo de produtividade média (MP), composta por aquelas parcelas que flutuaram entre esses dois limites. Assim, a população de referência, que irá compor as normas, é composta por aquelas parcelas que foram mais próximas ao potencial durante todo seu período de crescimento, de um a quatro anos (Estratégia B).

Métodos de diagnose nutricional

Foram utilizadas as para a diagnose do status nutricional os métodos DRIS (Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação), proposto por Beaufils (1973) e o método dos Índices Balanceados de Kenworthy, IBKW (Kenworthy, 1961).

Para o método de Kenworthy, foram obtidas a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação dos teores dos nutrientes nas populações de referência. Foram calculados os índices-padrão (P, I e B, todos expressos em porcentagem), segundo o método ajustado por Alvarez V., a partir de Kenworthy (1973) (Kurihara, 2004). O cálculo desses índices leva em consideração o coeficiente de variação do teor médio do nutriente da população de referência.

$$P = \frac{100y_i}{\bar{Y}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$I = \frac{CV(y_i - \bar{Y})}{\bar{Y}} \quad \text{Equação (2)}$$

$$IBKW = P - I \quad \text{Equação (3)}$$

em que,

P – proporção entre o teor do nutriente na amostra (y_i) e o teor padrão (\bar{Y});

I – influência da variação;

CV – Coeficiente de variação do teor da população de referência; e

IBKW – Índice balanceado de Kenworthy.

De acordo com o valor obtido de IBKW, os resultados foram interpretados da seguinte forma: Deficiente (< 50 %); Tendência a Deficiente (50 a 83 %); Suficiente (83 a 117 %); Tendência a Excesso (117 a 150 %) e Excessivo (> 150 %) (Kenworthy, 1961).

A fim de permitir comparações com os valores dos índices obtidos pelo método DRIS os valores de IBKW de cada nutriente foram convertidos para valores na escala normal reduzida de z, seguinte método proposto por Kurihara (2004):

$$z(IBKW) = \frac{IBKW - 100}{CV - \frac{CV^2}{100}} \quad \text{Equação (4)}$$

Uma vez ajustado os índices $z(\text{IBKW})$, também foi possível calcular os valores médios dos índices, definidos pela soma dos valores absolutos de $z(\text{IBKW})_m$ dividido pelo número total de nutrientes avaliados (n):

$$Z(\text{IBKW})_m = \frac{|Z(\text{IBKW})_A| + |Z(\text{IBKW})_B| + \dots + |Z(\text{IBKW})_n|}{n} \quad \text{Equação (5)}$$

Para o DRIS, a partir das parcelas da população de referência, foram estabelecidos os quocientes entre o teor de um dado nutriente (A) e os teores dos demais nutrientes (B, C, ..., n), sendo esta transformadas em variáveis normal reduzidas (escala z) (Jones, 1981). Para todas as relações direta e inversa entre os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B, dois a dois, foram calculadas as normas (média e desvio padrão). Na relação direta o nutriente aparece no numerador, e na inversa o nutriente aparece no denominador. Pelo cálculo aritmético das relações diretas (A/B) e inversa (B/A), transformadas em variáveis reduzidas, foi definido o índice DRIS (I_A), conforme Alvarez V. & Leite (1999):

$$Z\left(\frac{A}{B}\right) = \frac{\left[\left(\frac{A}{B}\right) - \left(\frac{a}{b}\right)\right]}{s} \quad \text{Equação (6)}$$

$$I_A = \frac{\left[z\left(\frac{A}{B}\right) - z\left(\frac{B}{A}\right) + z\left(\frac{A}{C}\right) - z\left(\frac{C}{A}\right) + \dots + z\left(\frac{A}{N}\right) - z\left(\frac{N}{A}\right)\right]}{n-1} \quad \text{Equação (7)}$$

em que:

A/B – relação dual de nutrientes da população de diagnose;

a/b – relação dual de nutrientes na população de referência;

s – desvio padrão da população de referência;

I_A – índice DRIS do nutriente;

n – número de nutrientes envolvidos na análise.

A soma dos valores absolutos dos índices DRIS, de cada nutriente, resulta no índice de equilíbrio nutricional (IEN, equação 8), sendo que os maiores valores refletem um maior desequilíbrio nutricional (Summer, 1977). Ao dividir o IEN pelo número de nutrientes envolvidos na diagnose nutricional obtém-se o Índice de Equilíbrio Nutricional Médio (IEN $_m$, equação 9), que reflete a média dos desvios dos nutriente em relação ao ótimo (Wadt, 1996).

$$IEN = |I_A| + |I_B| + \dots + |I_n| \quad \text{Equação (8)}$$

$$IEN_m = \frac{IEN}{n} \quad \text{Equação (9)}$$

em que:

IEN = índice de equilíbrio nutricional

$|I_n|$ = valores dos índices DRIS para cada nutriente, em módulo;

IEN_m = índice de equilíbrio nutricional médio;

n = número de nutrientes envolvidos na diagnose.

Com base nos valores de IEN_m e dos índices DRIS foi feita a alocação de cada nutriente nas classes de Potencial de Resposta a Adubação (PRA) (Wadt, 1996). O quadro 4, apresenta os critérios para alocação dos nutrientes em cada classe.

Quadro 4. Critérios utilizados para alocação dos nutrientes nas classes PRA, de acordo com os valores de IDRIS e IEN_m .

Índice DRIS	Módulo do Índice DRIS	+LF ou +LE	Classe PRA
< 0	> IEN_m	Sim	p
< 0	> IEN_m	Não	pz
≤ 0	≤ IEN_m	Independente	z
≥ 0	≤ IEN_m	Independente	z
> 0	> IEN_m	Não	nz
> 0	> IEN_m	Sim	n

+ LF: o mais limitante por falta; + LE: o mais limitante por excesso; p: positiva, pz: positiva ou nula; z: nula; nz: negativa ou nula; n: negativa.

Avaliação da universalidade das normas conforme a estratégia para a obtenção da população de referência geradora das normas

As normas nutricionais obtidas consistem da média aritmética dos teores dos nutrientes, suas relações duais (direta e inversa) e da sua variabilidade, sendo assim possível avaliar seu grau de universalidade.

Nas florestas jovens a comparação das normas foi realizada conforme a estratégia utilizada para a definição da população de referência, ou seja, comparando as normas obtidas pelo método padrão (avaliação ao um ano de idade, Estratégia A) com aquelas propostas neste trabalho (florestas altamente produtivas no período de um a quatro anos de idade, Estratégia B).

Para avaliar a homogeneidade de variância entre as populações foi realizado o teste F unilateral ($p < 0,05$), pelo quociente entre a maior e a menor variância, como mostrado na equação 9:

$$F = \frac{S_A^2}{S_B^2} \quad \text{Equação (9)}$$

em que,

S_A^2 = variância de maior valor;

S_B^2 = variância de menor valor.

A avaliação de diferença entre as normas, quanto a média, foi feita com base no teste t bilateral ($p < 0,05$). Para as comparações entre as populações com variância homogênea, o teste t foi aplicado conforme as equações 10 e 11:

$$t = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\sqrt{s_c^2 \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)}} \quad \text{Equação (10)}$$

$$s_c^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \quad \text{Equação (11)}$$

em que:

$(n_1 + n_2 - 2)$ = são os graus de liberdade;

\bar{y}_1 e \bar{y}_2 = variância das normas da população 1 (1 a 4 anos) e padrão (1 ano), utilizadas em cada comparação;

s_c^2 = variância comum entre as populações em comparação;

n_1 e n_2 = número de parcelas de cada população (1 e 2), em comparação.

No caso em que a variância foi heterogênea, o cálculo do teste t foi realizado utilizando a equação 10, mas para o cálculo do número de graus de liberdade (n^*), utilizou-se a equação 12:

$$n^* = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} \right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2} \right)^2}{n_2 - 1}} \quad \text{Equação (12)}$$

A universalidade das normas, entre as estratégias, também foi avaliada, ao comparar a frequência de diagnósticos concordantes (FDC) das classes obtidas, utilizando em um mesmo conjunto de parcelas normas específicas e gerais, para os métodos Kenworthy, DRIS e o PRA considerando as classes definidas para cada um desses métodos, considerou-se que FDC menores que 95 % refletem diferenças significativas entre normas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Normas nutricionais para florestas jovens de eucalipto no Extremo Sul da Bahia

O modelo 3-PG desenvolvido por Landsberg & Waring (1997) já é utilizado com sucesso para simular o crescimento de florestas de eucalipto em diversos biomas brasileiros (Almeida et al; 2004; Stape et al., 2004; Silva, 2006; Borges, 2009). Na região do Extremo Sul da Bahia sua parametrização tem-se mostrado muito eficiente para simular o potencial de crescimento de florestas de eucalipto, como pode ser observado no gráfico da figura 2.

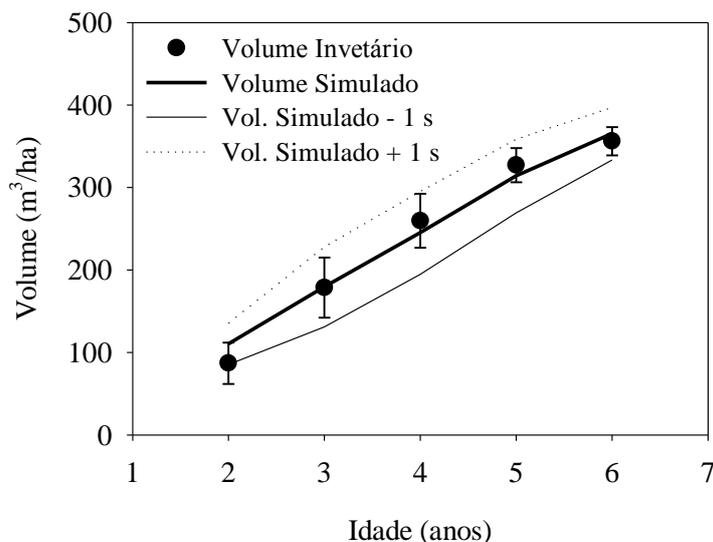


Figura 2. Simulação do crescimento de florestas de eucalipto realizada pelo modelo 3-PG para as condições edafoclimáticas do extremo Sul da Bahia.

Assim, foram geradas estimativas de crescimento em função da idade para 34 parcelas espalhadas por toda a área de atuação da empresa, sendo possível garantir que toda a variação edafoclimática pode ser abrangida. Esse procedimento permitiu que parcelas com características de solo e clima semelhantes serem agrupadas em três diferentes ambientes, conforme pode ser observado no quadro 5.

Quadro 5. Caracterização dos ambientes utilizados para agrupamento dos talhões

Ambiente	Número de parcelas simuladas (<i>n</i>)	Precipitação média anual	Teor de Argila 0-20 cm	Teor de Argila 20-40 cm	Classe de solo predominante
		----- mm -----	----- dag/kg -----	-----	
Ambiente A	9	1.434,41	19,00	28,60	Argissolos
Ambiente B	13	1.587,27	28,52	35,98	Argissolos e Latossolos
Ambiente C	12	1.699,52	20,22	32,81	Argissolos

Assim, para cada ambiente foi ajustado um modelo de regressão que melhor explica o potencial de crescimento para aquele local. Para as três situações o modelo escolhido foi o Logístico, sendo que para todas as equações ajustadas seus β 's foram altamente significativos ($p < 0,001$). Os gráficos da figura 3 apresentam os dados de potencial produtivo e o modelo ajustado para cada situação.

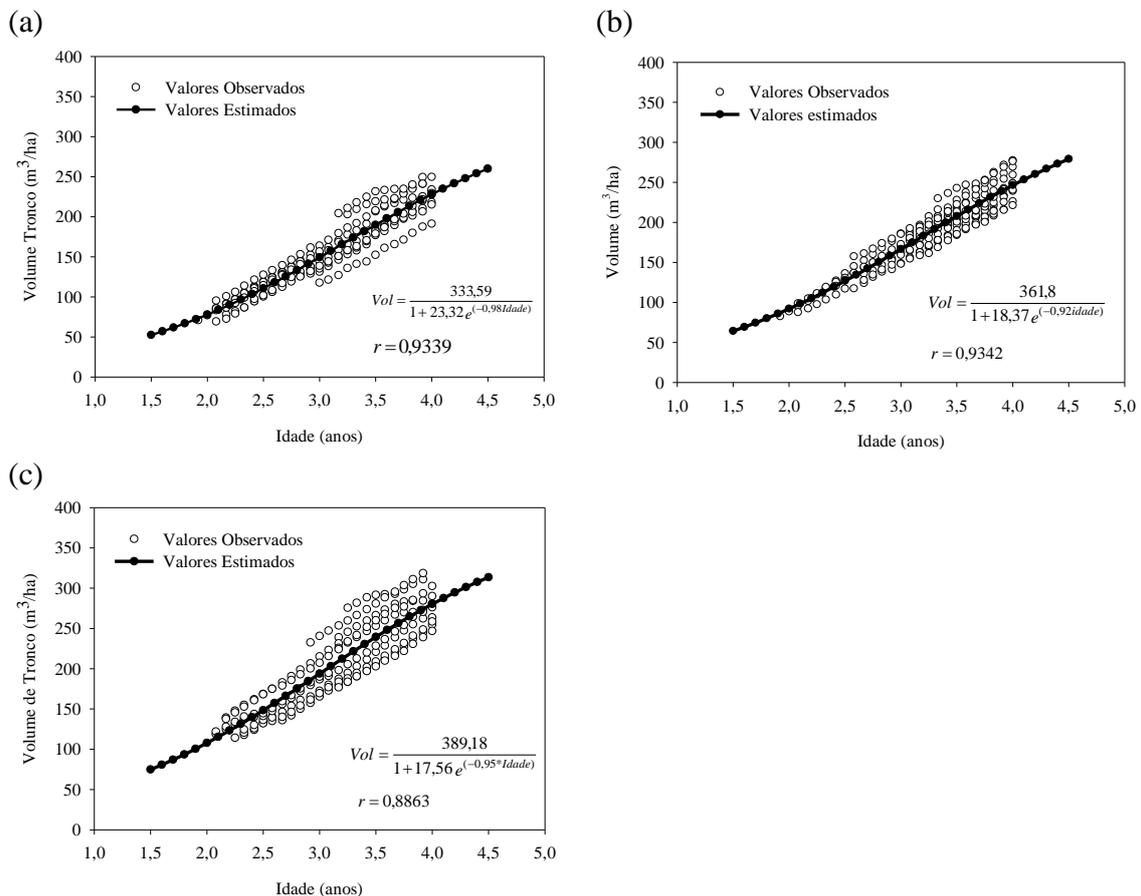


Figura 3. Modelos de potencial de crescimento para cada uma dos ambientes edafoclimáticos identificados em áreas localizadas no Extremo Sul da Bahia. (a) Ambiente A; (b) Ambiente B e (c) Ambiente C.

Os fatores de aproximação obtidos (produtividade real/produtividade potencial) nas idades de um, dois, três e quatro anos foram utilizados para a estratificação das

parcelas de acordo com o seu grau de afastamento da curva de crescimento potencial. De uma população total de 500 parcelas, 24 parcelas sempre se mantiveram acima da média de produtividade + 0,5s (AP) e 31 parcelas sempre foram inferiores a média - 0,5s (BP) e o restante das parcelas flutuou entre essas duas classes. A população AP foi utilizada para gerar as normas nutricionais a serem utilizadas no diagnóstico nutricional das florestas jovens de eucalipto (Estratégia B).

A avaliação do crescimento em volume pelo fator de aproximação (volume real/volume potencial) ocorreu nas idades entre um a quatro anos. Este período é considerado como crítico para a floresta, uma vez que tem forte relação com a produtividade aos sete anos. Stape e colaboradores (2010), em uma rede de experimentos para avaliar a produtividade potencial de eucalipto no Brasil observou que o pico de crescimento da floresta ocorre até aos quatro anos, quando a partir de então a floresta tende a naturalmente a reduzir seu ritmo de crescimento. Binkley et al. (2010) também avaliando o crescimento de plantas no mesmo experimento concluiu que plantas com crescimento superior a média da população não diminuem, ou diminuem muito pouco, seu ritmo de crescimento após os quatro anos. Assim, se no momento que propormos utilizarmos parcelas que sempre apresentaram crescimento superior à média da população, estamos selecionando plantas que puderam expressar quase todo seu potencial de crescimento até então. Também deve-se levar em consideração que o pico da demanda da floresta de eucalipto por nutrientes ocorre por volta dos quatro anos (Gonçalves et al., 1997).

Utilizando o método atual, seleção da população de referência com base na produtividade na idade de 1 (Estratégia A) ano a frequência de parcelas de alta produtividade foi de 30,9 %. O quadro 6 resume o número de parcelas utilizadas para a geração das normas nutricionais de acordo com o método utilizado na sua seleção.

Quadro 6. Número de parcelas disponíveis para a composição das normas na situação padrão da empresa e utilizando somente as parcelas que tiveram produtividade superior nos quatro anos de avaliação (1 a 4 anos).

Grupo de dados	População original	População referência
Estratégia A	1.282	396
Estratégia B	500	24

As médias das normas e sua variação (desvio padrão e CV) obtidas pelos dois métodos de seleção da população de alta produtividade são descritos na tabela 1.

Também na mesma tabela estão apresentadas o nível de significância do teste de médias e de variâncias para as normas padrão e com base na população de alta produtividade nas idades de um a quatro anos.

As normas IBKW levam em consideração as médias dos teores dos nutrientes e sua variância e pode-se dizer que para a comparação realizada, as normas diferem quanto a média e ou quanto a variância. Portanto, isso sugere, que as normas estabelecidas com base na população de dados que apresentou alta produtividade durante todos os quatro primeiros anos da floresta possam ser adotadas como referência para o monitoramento nutricional das florestas de eucalipto.

Para os índices DRIS houve uma maior frequência de diferenças significativas na comparação entre as variâncias (71 %) que entre as médias (60 %), em termos de relações duais. Apenas as médias das relações duais na forma direta envolvendo o Mn e Fe com os demais nutrientes não foram significativamente diferentes para nenhuma das observações. Pode-se destacar que esses nutrientes foram o que apresentaram maior variância entre os analisados.

Outro fato que merece atenção é que as normas obtidas pela Estratégia B apresentaram valores de coeficientes de variação notadamente inferiores aos observados para as normas obtidas pela Estratégia A. Essa redução nos valores de coeficiente de variação confere as normas uma maior sensibilidade na detecção de desvios nutricionais.

Mesmo que as normas apresentem uma alta frequência de diferenças significativas ainda há a necessidade de se verificar se elas convergem para diagnósticos semelhantes, uma vez que a norma é o resultado da média aritmética de uma população enquanto o diagnóstico nutricional engloba uma faixa de valores (Silva, 2001).

Tabela 12. Normas e teores foliares^{1/} de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B e suas relações duais (direta e inversa), para os métodos de IBKW e DRIS, para plantios jovens clonais de eucalipto, população de referência, considerando normas pela estratégia A e B e suas comparações pelo teste *t* (teste de médias) e F (análise da variância).

Variável	Estratégia A ^{2/}			Estratégia B ^{3/}			A vs B ^{6/}	
	Média	s ^{4/}	CV ^{5/}	Média	S ^{4/}	CV ^{5/}	Y ^{7/}	s ^{2 8/}
N	21,80	2,59	11,88	22,14	1,89	8,52	ns	*
P	1,16	0,22	19,10	1,22	0,17	14,16	*	ns
K	9,54	2,03	21,25	9,35	0,77	8,23	ns	*
Ca	6,36	2,06	32,47	7,51	2,02	26,88	*	ns
Mg	1,82	0,40	21,90	1,53	0,24	15,68	*	*
S	0,78	0,33	42,83	0,80	0,13	15,99	ns	*
Zn	12,69	2,54	19,98	11,34	1,76	15,55	*	*
Fe	48,45	23,12	47,73	46,25	10,52	22,75	ns	*
Mn	156,29	126,34	80,84	136,56	96,74	70,84	ns	ns
Cu	3,63	2,31	63,67	2,80	1,65	58,97	ns	*
B	45,21	17,14	37,92	42,28	12,69	30,00	ns	*
N/P	19,21	2,99	15,57	18,43	2,58	14,02	ns	ns
N/K	2,37	0,51	21,38	2,38	0,28	11,78	ns	*
N/Ca	3,78	1,28	33,80	3,16	0,91	28,74	*	*
N/Mg	12,50	2,96	23,70	14,90	3,01	20,23	*	ns
N/S	31,63	10,53	33,28	28,34	4,15	14,64	ns	*
N/Zn	1,76	0,29	16,59	1,98	0,25	12,67	*	ns
N/Fe	0,50	0,14	28,19	0,50	0,09	18,71	*	*
N/Mn	0,24	0,19	80,91	0,23	0,14	61,19	*	*
N/Cu	34,42	152,17	442,11	10,73	6,26	58,36	ns	*
N/B	0,55	0,20	36,17	0,58	0,21	36,54	*	ns
P/N	0,05	0,01	18,54	0,06	0,01	12,91	*	*
P/K	0,12	0,03	21,79	0,13	0,02	17,88	*	ns
P/Ca	0,20	0,08	38,55	0,17	0,05	27,42	*	*
P/Mg	0,66	0,16	23,62	0,81	0,15	18,61	*	ns
P/S	1,67	0,55	32,98	1,55	0,25	16,06	*	*
P/Zn	0,09	0,02	16,66	0,11	0,02	15,95	*	ns
P/Fe	0,03	0,01	30,73	0,03	0,01	22,39	*	*
P/Mn	0,01	0,01	81,50	0,01	0,01	60,55	*	*
P/Cu	1,72	7,61	441,97	0,59	0,34	58,26	ns	*
P/B	0,03	0,01	41,11	0,03	0,01	40,94	*	ns
K/N	0,44	0,10	23,09	0,43	0,05	11,93	*	*
K/P	8,38	1,81	21,62	7,84	1,43	18,26	ns	ns
K/Ca	1,71	0,88	51,24	1,35	0,42	31,40	*	*
K/Mg	5,47	1,66	30,29	6,23	0,91	14,65	*	*

Continua

Continuação

Variável	Estratégia A ^{2/}			Estratégia B ^{3/}			A vs B ^{6/}	
	Média	s ^{4/}	CV ^{5/}	Média	S ^{4/}	CV ^{5/}	Y ^{7/}	s ^{2 8/}
K/S	13,86	4,81	34,66	12,10	2,52	20,80	ns	*
K/Zn	0,77	0,17	22,38	0,84	0,15	17,94	*	ns
K/Fe	0,23	0,09	41,01	0,21	0,05	25,62	*	*
K/Mn	0,11	0,09	86,70	0,10	0,06	64,66	*	*
K/Cu	13,65	59,65	436,84	4,52	2,62	58,00	ns	*
K/B	0,25	0,13	50,54	0,25	0,09	37,11	*	*
Ca/N	0,29	0,10	33,17	0,34	0,08	23,51	*	ns
Ca/P	5,63	1,97	35,05	6,18	1,50	24,20	ns	ns
Ca/K	0,71	0,31	43,06	0,81	0,24	29,03	*	ns
Ca/Mg	3,64	1,41	38,72	5,03	1,54	30,66	*	ns
Ca/S	9,30	4,47	48,08	9,41	1,87	19,86	ns	*
Ca/Zn	0,52	0,19	36,57	0,66	0,15	22,78	*	ns
Ca/Fe	0,14	0,05	34,75	0,17	0,04	24,32	*	ns
Ca/Mn	0,07	0,05	70,39	0,07	0,03	46,31	*	*
Ca/Cu	10,25	43,97	428,80	3,50	2,04	58,09	ns	*
Ca/B	0,15	0,06	38,69	0,19	0,05	27,49	*	ns
Mg/N	0,08	0,02	24,65	0,07	0,01	20,77	*	*
Mg/P	1,60	0,36	22,35	1,28	0,25	19,71	*	*
Mg/K	0,20	0,06	28,88	0,16	0,02	13,82	*	*
Mg/Ca	0,32	0,12	37,39	0,22	0,07	33,12	*	*
Mg/S	2,63	0,92	35,10	1,99	0,52	26,39	*	*
Mg/Zn	0,15	0,03	23,15	0,14	0,03	22,07	*	ns
Mg/Fe	0,04	0,02	38,34	0,04	0,01	30,22	*	*
Mg/Mn	0,02	0,02	80,35	0,02	0,01	65,55	*	*
Mg/Cu	2,87	12,80	446,44	0,72	0,40	56,05	ns	*
Mg/B	0,05	0,02	48,40	0,04	0,02	38,42	*	*
S/N	0,04	0,01	38,24	0,04	0,01	14,00	*	*
S/P	0,68	0,26	37,83	0,66	0,10	14,75	*	*
S/K	0,08	0,04	49,64	0,09	0,02	21,41	*	*
S/Ca	0,13	0,06	48,32	0,11	0,03	23,21	*	*
S/Mg	0,44	0,18	41,60	0,54	0,13	23,86	*	*
S/Zn	0,06	0,02	36,22	0,07	0,01	16,23	*	*
S/Fe	0,02	0,01	38,88	0,02	0,00	19,27	*	*
S/Mn	0,01	0,01	95,40	0,01	0,00	53,28	*	*
S/Cu	1,07	4,71	441,90	0,38	0,22	56,83	ns	*
S/B	0,02	0,01	48,38	0,02	0,01	35,77	*	ns

Continua

Continuação

Variável	Estratégia A ^{2/}			Estratégia B ^{3/}			A vs B ^{6/}	
	Média	s ^{4/}	CV ^{5/}	Média	S ^{4/}	CV ^{5/}	Y ^{7/}	s ^{2 8/}
Zn/N	0,58	0,10	17,80	0,51	0,07	13,26	*	*
Zn/P	11,10	2,22	20,01	9,39	1,40	14,93	*	*
Zn/K	1,37	0,35	25,16	1,22	0,22	17,81	*	*
Zn/Ca	2,20	0,80	36,45	1,60	0,44	27,55	*	*
Zn/Mg	7,19	1,76	24,50	7,59	1,60	21,14	ns	ns
Zn/S	18,16	5,87	32,31	14,49	2,76	19,03	ns	*
Zn/Fe	0,29	0,09	30,09	0,25	0,06	22,95	*	*
Zn/Mn	0,13	0,10	77,65	0,11	0,06	55,36	*	*
Zn/Cu	18,54	77,50	418,04	5,32	2,96	55,66	ns	*
Zn/B	0,32	0,14	42,34	0,29	0,10	32,94	*	*
Fe/N	2,22	1,09	48,95	2,10	0,50	23,72	ns	*
Fe/P	42,43	23,13	54,50	38,39	8,94	23,29	ns	*
Fe/K	5,33	2,78	52,27	5,02	1,34	26,78	ns	*
Fe/Ca	8,14	4,50	55,30	6,46	1,75	27,13	ns	*
Fe/Mg	27,55	13,87	50,35	31,29	9,63	30,79	ns	*
Fe/S	67,75	33,32	49,19	58,54	11,29	19,29	ns	*
Fe/Zn	3,83	1,44	37,64	4,13	0,94	22,83	ns	*
Fe/Mn	0,52	0,57	109,53	0,47	0,27	58,44	ns	*
Fe/Cu	70,86	285,78	403,27	22,45	13,37	59,54	ns	*
Fe/B	1,18	0,75	63,16	1,22	0,53	43,64	ns	*
Mn/N	7,30	6,18	84,67	6,37	5,32	83,52	ns	ns
Mn/P	138,40	116,41	84,11	118,79	104,82	88,24	ns	ns
Mn/K	17,02	14,60	85,81	14,86	10,35	69,65	ns	*
Mn/Ca	26,54	23,23	87,55	19,55	18,33	93,76	ns	ns
Mn/Mg	84,59	62,82	74,27	92,87	64,79	69,76	ns	ns
Mn/S	227,89	197,24	86,55	178,29	156,22	87,62	ns	ns
Mn/Zn	12,43	9,92	79,80	12,07	8,22	68,09	ns	ns
Mn/Fe	3,72	3,62	97,27	3,20	3,21	100,22	ns	ns
Mn/Cu	156,72	536,65	342,43	56,89	38,67	67,97	ns	*
Mn/B	4,02	4,01	99,92	3,38	2,22	65,76	ns	*
Cu/N	0,17	0,11	63,53	0,13	0,07	58,44	*	*
Cu/P	3,17	2,06	65,00	2,33	1,38	59,16	*	*
Cu/K	0,38	0,24	62,68	0,30	0,17	56,40	*	*
Cu/Ca	0,64	0,52	80,77	0,39	0,24	61,59	*	*
Cu/Mg	2,02	1,27	63,18	1,83	1,08	59,01	ns	ns
Cu/S	5,35	4,63	86,57	3,59	2,13	59,32	ns	*
Cu/Zn	0,29	0,18	62,60	0,24	0,12	48,01	*	*
Cu/Fe	0,08	0,06	72,58	0,06	0,04	67,48	*	*

Continua

Continuação

Variável	Estratégia A ^{2/}			Estratégia B ^{3/}			A vs B ^{6/}	
	Média	s ^{4/}	CV ^{5/}	Média	S ^{4/}	CV ^{5/}	Y ^{7/}	s ^{2 8/}
Cu/Mn	0,03	0,04	114,17	0,02	0,01	48,93	*	*
Cu/B	0,10	0,07	76,40	0,07	0,03	47,53	*	*
B/N	2,07	0,75	36,23	1,91	0,56	29,13	*	*
B/P	39,85	15,85	39,79	35,63	12,90	36,20	ns	ns
B/K	5,05	2,44	48,38	4,55	1,41	30,93	ns	*
B/Ca	7,42	2,61	35,17	5,80	1,72	29,69	*	*
B/Mg	25,94	11,12	42,86	28,45	10,15	35,67	ns	ns
B/S	65,39	33,61	51,40	53,98	16,95	31,41	ns	*
B/Zn	3,66	1,49	40,56	3,77	1,15	30,58	ns	ns
B/Fe	1,01	0,37	36,94	0,95	0,33	34,72	*	ns
B/Mn	0,48	0,40	82,20	0,42	0,29	69,13	*	*
B/Cu	59,92	161,01	268,70	20,40	15,60	76,48	ns	*

^{1/}Em g/kg para macronutrientes e mg/kg para micronutrientes. ^{2/}Normas geradas a partir da população de alta produtividade na idade de 1 ano; ^{3/}Normas geradas a partir da população que sempre apresentou alta produtividade entre as idades de um a quatro anos; ^{4/} desvio padrão da média da norma; ^{5/} Coeficiente de Variação da norma, expresso em %; ^{6/} teste de média e variância entre as normas obtidas considerando apenas a idade de um ano e considerando as idades de um a quatro anos; ^{7/} teste *t* para média, * e *ns*, significativo a 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente; ^{8/}teste F para variâncias, * e *ns*, significativo a 5 % de probabilidade e não significativo, respectivamente.

Assim, foi realizado o diagnóstico nutricional das parcelas utilizando os métodos IBKW, DRIS e PRA. A partir dessa informação, para uma mesma parcela, foi comparado o diagnóstico com base nos dois grupos de normas obtidas (Estratégia A e B) e então calculada a frequência em que os diagnósticos eram concordantes (FDC). O resumo dos resultados é apresentado na tabela 2.

Tabela 2. Frequência de amostras com diagnósticos concordantes (FDC) para as classes: deficiente, tendência à deficiência, suficiente, tendência a excesso e excesso pelos métodos IBKW^{1/} e DRIS^{2/}, e resposta a adubação: p, pz, z, nz e n pelo método PRA^{3/}, entre normas definidas via a floresta de 1 ano (Estratégia A) e aquelas que sempre foram superiores entre 1 a 4 anos (Estratégia B) para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, Cu e B em florestas jovens de eucalipto cultivadas no Extremo Sul da Bahia.

Método	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Média Geral
	----- FDC ^{4/} (%)-----											
DRIS	53,8	48,9	57,1	47,1	31,7	45,8	25,8	57,1	64,3	43,7	68,3	49,4
IBKW	89,0	85,0	78,0	52,0	48,0	73,0	86,0	74,0	51,0	56,0	84,0	70,5
PRA	81,1	69,7	81,3	56,9	58,8	75,6	70,8	76,1	74,2	56,3	72,3	70,3

^{1/}Índice Balanceado de Kenworthy; ^{2/}Índice DRIS; ^{3/}Potencial de Resposta a Adubação (Wadt, 1996); ^{4/}Frequência de diagnósticos concordantes para uma mesma população considerando normas gerais e específicas.

O diagnóstico pelo método DRIS foi o que apresentou os menores valores de concordância para todos os nutrientes avaliados, indicando que principalmente em termos da análise do equilíbrio nutricional foi mais sensível ao uso de normas mais específicas (Estratégia B).

Os baixos valores de FDC encontrados nesse trabalho indicam que as normas obtidas com base na população de referência estabelecida na idade de 1 ano pode levar a erros de interpretação entre 30 a 50 %, dependendo do método de diagnóstico utilizado. Isso reforça a ideia de que os valores obtidos com base no grupo de parcelas que sempre foi superior são os mais adequados para o uso no monitoramento nutricional das florestas jovens de eucalipto.

Outros autores (Kurihara, 2004; Silva et al., 2005; Rocha, 2008; Fernandes, 2010) destacaram a importância de se obter normas para situação edafoclimáticas específicas, entretanto até o presente momento não havia relatos sobre a necessidade de se considerar a população de plantas que sempre mantém um crescimento superior na definição das normas.

Considerando o status nutricional das plantas o método PRA permite identificar os nutrientes mais limitantes ao crescimento da planta e como consequência os que mais apresentam probabilidade de resposta positiva a aplicação de nutrientes (p e pz). Por isso realizou-se o agrupamento das duas classes extremas (p + pz) e (n + nz) nas classes limitante por falta (LF) e limitante por excesso (LE), respectivamente. A classe z foi considerada como não limitante (NL), os resultados estão resumidos na tabela 3.

Tabela 3. Frequência de diagnósticos nas classes limitantes (LF), não limitantes (NL) e excessivo (LE) obtidos pelo método do PRA, considerando duas estações do ano para plantios jovens de eucalipto na região do extremo sul da Bahia.

Classe	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	----- Frequência ^{4/} (%) -----										
LF ^{1/}	11,3	22,7	8,0	63,7	3,8	24,6	1,7	27,1	7,6	25,2	18,3
NL ^{2/}	84,2	73,1	61,3	34,9	45,6	62,4	68,1	60,3	55,9	34,5	72,3
LE ^{3/}	4,4	4,2	30,7	1,5	50,6	13,0	30,3	12,6	36,6	40,3	9,5
	----- Ordem ^{5/} -----										
LF ^{1/}	Ca >	Fe >	Cu >	S >	P >	B >	N >	K >	Mn >	Mg >	Zn
NL ^{2/}	N >	P >	B >	Zn >	S >	K >	Fe >	Mn >	Mg >	Ca >	Cu
LE ^{3/}	Mg >	Cu >	Mn >	K >	Zn >	S >	Fe >	B >	N >	P >	Ca

^{1/} LF – nutriente limitante por falta, agrupamento das classes p + pz; ^{2/} NL – nutriente não limitante, classe z; ^{3/} LE – nutriente limitante por excesso, agrupamento das classes nz + n; ^{4/} frequência de observações em relação ao total de dados disponíveis; ^{5/} Ordem decrescente

O Ca é o nutriente mais limitante para a maiorias das florestas, indicando a necessidade de ajustes na recomendação deste elemento. Por outro lado as florestas, em sua maioria, apresentam uma limitação por excesso para Mg, enquanto que o N foi o que apareceu em maior frequência como não limitante ao crescimento da floresta.

A integração dos métodos de diagnose DRIS e IBKW (Rocha, 2008) fornece uma avaliação em conjunta do balanço e equilíbrio nutricional de uma floresta. De maneira geral o que se espera de uma floresta com boa nutrição é que ela apresente alta frequência de concordância entre os diagnósticos baseados nos índices DRIS e IBKW nas faixas considerada adequada para o DRIS (-0,66 a +0,66) e IBKW (83 a 117). Com o propósito de que ambos os eixos estivessem na mesma escala a variável IBKW foi convertida para a escala norma reduzida (z), conforme proposta de Kurihara (2004).

Os gráficos da Figura 4 apresenta uma integração dos índices DRIS e IBKW para florestas jovens de eucalipto mediante a utilização das normas ajustadas com base na população superior entre um e quatro anos.

Pelos gráficos verifica-se que o N foi o elemento que apresentou maior frequência da população classificada como equilibrada e balanceada, com 30 % da população total. Por outro lado para 87 % das parcelas o teor de Ca é considerado como desequilibrado e desbalanceado por falta, sendo este então o elemento mais limitante ao crescimento das plantas. Já o elemento que a maior frequência de parcelas desequilibradas por excesso foi o Mg, em 72 % do total de parcelas.

Vale ressaltar que o caso mais crítico é quando o desequilíbrio e desbalanço é por falta, neste caso a falta do recurso nutricional está limitando o crescimento da floresta, cabendo nestes casos a necessidade de reposição nutricional corretiva.

Kurihara (2004) afirma que não é de se esperar que grande parte da população não esteja na faixa equilibrada e balanceada, uma vez que uma simples relação nutricional pode não ter uma relação direta com a produtividade, tendo em vista que outros fatores limitantes podem estar afetando a produtividade das florestas.

A análise conjunta dos índices gerados pelo método DRIS e IBKW se mostrou eficiente na detecção de problemas nutricionais em florestas de eucalipto, uma vez que os diagnósticos obtidos por essa técnica foi compatível com os obtidos anteriormente pelo método do PRA.

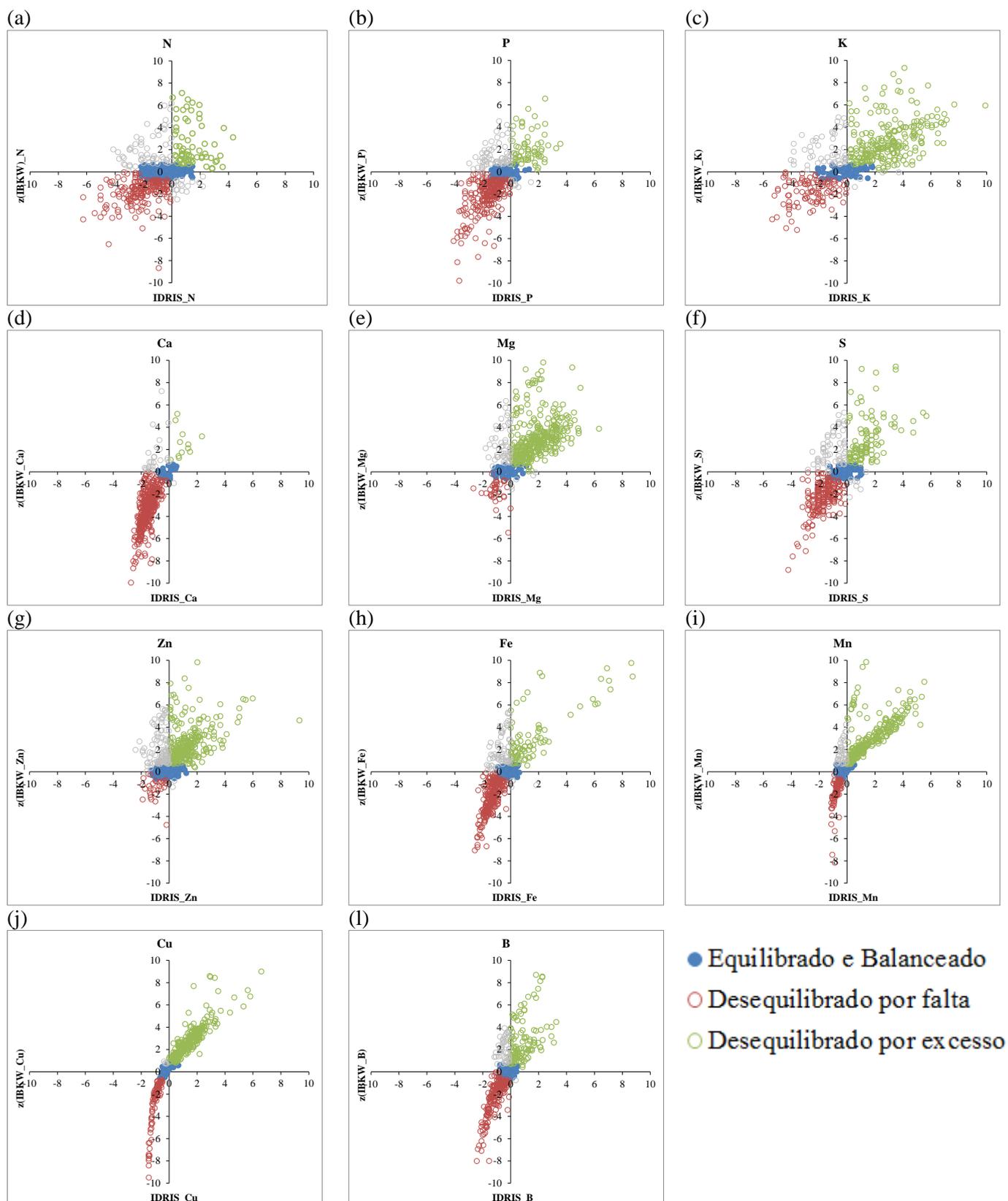


Figura 4. Índices DRIS e a Índices Balanceados de Kenworthy (expresso na escala normal reduzida) de (a) N; (b) P; (c) K; (d) Ca; (e) Mg; (f) S; (g) Zn; (h) Fe; (i) Mn; (j) Cu e (l) B em plantios jovens de eucalipto no Extremo Sul da Bahia, mediante normas obtidas para a população de crescimento superior no período de um a quatro anos.

O grau de equilíbrio e balanço nutricional de uma determinada parcela pode ser inferido pelo IEN m (Wadt, 1996) e o $z(\text{IBKW})_m$ (na escala normal reduzida) que representa a média aritmética dos índices, tomados em módulo. Quanto maior o valor dos índices maior o desequilíbrio ou desbalanço nutricional. Silva (2001) verificou uma relação entre os valores de IEN m e $z(\text{IBKW})_m$ e a produtividade das florestas de eucalipto na região do Vale do Rio Doce. Espera-se que a plantas que compõem a norma e, portanto, as de maior produtividade, apresentem os menores valores de IEN m e $z(\text{IBKW})_m$ por outro lado as população de menor produtividade tendem a apresentar valores elevados desse índices.

Na tentativa de investigar essa observação, foram obtidos os valores de IEN m e $z(\text{IBKW})_m$ para a população de parcelas com produtividade contrastante; a de alta produtividade, que compôs as normas, e também as de menor volume de tronco (medida os 4 anos), que foi composta por aquela população de parcelas cujo crescimento nos quatro anos avaliados sempre se manteve abaixo da média - 0,5s. Esse procedimento permitiu o ajuste de um modelo que descreve a IEN m (a) e $z(\text{IBKW})_m$ (b) com a produtividade volumétrica(Figura 5).

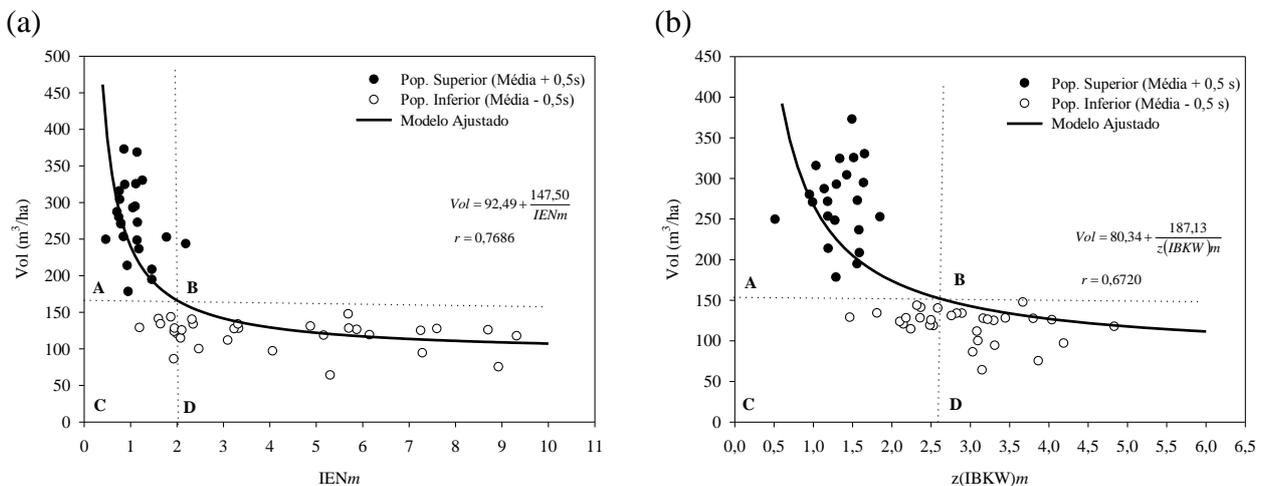


Figura 5. Relação entre a produção volumétrica aos quatro anos das florestas e o índice de equilíbrio nutricional médio (a) e índice de balanço de Kenworth médio, expresso na escala normal reduzida (b).

Por meio de um processo iterativo foi possível identificar o ponto de mudança de declividade da curva ajustada com todos os dados disponíveis. Este ponto na curva pode ser entendido como o valor de IEN m e $z(\text{IBKW})_m$ crítico que define a influência do equilíbrio e balanço nutricional sobre o crescimento da floresta (IEN m = 2 e $z(\text{IBKW})_m$ = 2,6).

A definição de um ponto crítico no relacionamento entre o equilíbrio e balanço nutricional com a produtividade também permitiu a separação da área do gráfico em quadrantes distintos, identificados pelas letras A, B, C e D. O quadrante A agrupa as parcelas de alta produtividade e com baixo valor de IEN_m e $z(IBKW)_m$, ou seja, as parcelas referências, utilizadas na composição das normas. Já o quadrante D agrupa as parcelas que se encontram em situação oposta; os altos valores de IEN_m e $z(IBKW)_m$ indicam um alto desbalanço e desequilíbrio nutricional, o que resultou em baixos níveis de produtividade. O quadrante C agrupa parcelas de baixa produtividade, porém com nível de equilíbrio e balanço nutricional adequado. Neste caso a baixa produtividade é consequência de outro fator limitante que não a nutrição.

Pode-se dizer que o cruzamento dos valores de IEN_m e $z(IBKW)_m$ fornece uma avaliação global do status de equilíbrio e balanço conjunto dos 11 nutrientes em uma população de alta e baixa produtividade, sendo que os valores de IEN_m e $z(IBKW)_m$ que separam a população de alta e baixa produtividade foram definidos pelo ponto de inflexão entre esses índices e a produtividade (IEN_m de 0 a 2 e $z(IBKW)_m$ de 0 a 2,6) (Figura 6).

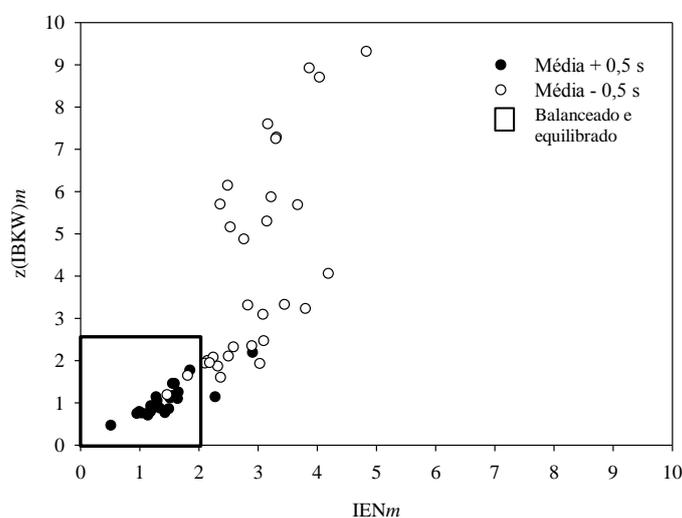


Figura 6. Relacionamento do balanço e equilíbrio nutricional global (considerando todos os nutrientes envolvidos no diagnóstico) dos plantios jovens de eucalipto no Extremo Sul da Bahia.

É possível perceber que 91,6 % da população de referência apresenta teores de nutrientes na faixa do equilibrado e balanceado com seus valores apresentando baixa dispersão e tendendo a se aproximar de zero, fato contrário ao observado na população de baixa produtividade. Esses resultados quesão consoantes aos encontrados por Rocha

(2008) e Cunha (2010) que também observaram alta concentração da população de alta produtividade tendendo a valores de IEN_m e IBKW_m para zero, evidenciam a importância de um adequado estado nutricional (balanço e equilíbrio conjuntamente) para a produtividade florestal.

A população de baixa produtividade sempre permaneceu nessa classe (no período avaliado de um a quatro anos) e o status nutricional destas plantas esteve relacionado a este desempenho. A tabela 4 apresenta os teores médios dos nutrientes em cada classe de produtividade. Observa-se que, os teores dos nutrientes N, P, Ca e Cu na população de baixa produtividade sempre estiveram abaixo daqueles observados na população de alta, também pode-se destacar que os valores de IEN_m e z(IBKW)_m, na população de baixa produtividade, são superiores, indicando alto desbalanço e desequilíbrio nutricional. Em termos práticos, podemos concluir que o aspecto nutricional deve ser objeto de grande atenção aos manejadores florestais, uma vez que florestas que apresentam baixos teores nutricionais e altos valores de desbalanço e desequilíbrio, associado a baixo crescimento em idades jovens irão produzir menos e terão poucas chances de retomar um ritmo elevado de crescimento se não forem realizadas correções.

Tabela 4. Teores de nutrientes na idade de 1 ano, volume de tronco aos quatro anos e índices médios de equilíbrio e balanço nas populações de alta, média e baixa produtividade, ascendente e descendente de povoamentos florestais no extremo sul da Bahia

População	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Vol	IEN _m	IBKW
	----- g/kg -----						----- mg/kg -----					m ³ /ha		
Alta Prod. ^{1/} (n = 24)	22,14 (0,75)	1,22 (0,07)	9,35 (0,31)	7,51 (0,81)	1,53 (0,10)	0,80 (0,05)	11,34 (0,71)	46,25 (4,21)	136,56 (38,70)	2,80 (0,66)	42,28 (5,08)	274,66 (20,19)	1,06 (0,15)	1,44 (0,19)
Média Prod. ^{2/} (n = 71)	20,39 (0,67)	1,08 (0,05)	10,09 (0,49)	4,94 (0,25)	1,72 (0,08)	0,73 (0,04)	12,26 (0,51)	42,26 (4,67)	187,03 (32,03)	3,09 (0,60)	38,00 (2,53)	175,29 (3,74)	2,51 (0,38)	1,28 (0,08)
Baixa Prod. ^{3/} (n = 31)	17,37 (1,50)	0,83 (0,09)	8,56 (0,80)	3,88 (0,20)	2,00 (0,12)	0,70 (0,08)	12,05 (0,87)	40,53 (5,06)	229,31 (50,73)	1,21 (0,57)	42,23 (4,61)	120,07 (6,85)	4,20 (0,87)	2,93 (0,26)
Ascendente ^{4/} (n = 38)	20,80 (0,95)	1,18 (0,09)	10,12 (0,57)	4,30 (0,29)	1,97 (0,10)	0,77 (0,05)	12,36 (0,62)	36,53 (2,44)	214,96 (43,65)	3,96 (1,88)	35,96 (3,46)	188,65 (11,50)	2,54 (0,42)	1,37 (0,13)
Descendente ^{5/} (n = 8)	22,66 (1,81)	1,31 (0,20)	9,89 (1,00)	7,12 (1,31)	1,51 (0,17)	0,75 (0,14)	12,79 (0,95)	51,73 (7,89)	153,73 (48,48)	3,08 (1,50)	46,48 (8,40)	141,38 (26,43)	1,21 (0,11)	0,96 (0,22)

^{1/}população de alta produtividade (> média + 0,5s); ^{2/}população de baixa produtividade (< média + 0,5s e > média - 0,5s); ^{3/}população de baixa produtividade (< média - 0,5s); ^{4/}população de baixo crescimento inicial que atinge alto crescimento na idade de quatro anos; ^{5/}população com alto crescimento inicial e com baixa produtividade aos quatro anos; ^{6/}volume de tronco aos quatro anos. Os valores entre parênteses se referem ao intervalo de confiança da média a 5 % de probabilidade

Ainda em relação à tabela 15, também são apresentadas informações sobre outras duas populações distintas. A primeira é denominada Ascendente, que diz respeito aquelas plantas que tiveram um crescimento inicial pequeno (baixa produtividade), mas

faziam parte de seu crescimento aos quatro anos. Essa população, por algum motivo, possivelmente ligado ao manejo, não apresentou um crescimento inicial adequado, os teores nutricionais eram adequados suficientemente para garantir que ela fosse capaz de recuperar seu crescimento ao logo do tempo, alcançando se igualando a produção da população de média produtividade. Por outro lado, a população Descendente indica aquelas parcelas que apresentaram um crescimento inicial muito bom (alta produtividade), entretanto chegaram aos quatro anos na população de baixa produtividade. Esse resultado possivelmente também indica uma influência do manejo no crescimento das parcelas, uma vez que os teores dos nutrientes dessas plantas na idade de um ano eram próximos da população de manteve na classe de alta produtividade. Não sabemos qual era o status nutricional dessas plantas nas idades seguintes, talvez o nutriente disponível no solo foi suficiente para uma boa arrancada, mas não para manter um ritmo alto de crescimento. Cabe, então, no futuro investigação mais detalhada sobre o comportamento nutricional das plantas nas idades superiores a um ano.

Neste trabalho demonstrou-se que as normas nutricionais ajustadas para plantios jovens de eucalipto tendo como critério de seleção da população de alta produtividade aquelas parcelas que sempre apresentaram crescimento superior no período de um a quatro anos apresentaram menor variabilidade e proporcionaram diagnósticos mais sensíveis do que os obtidos com o uso de normas obtidas com base na população superior apenas na idade de um ano independente de seu crescimento futuro. Entretanto todas as médias das normas foram baseadas na avaliação nutricional realizada quando a planta tinha apenas um ano. Não sabemos como é o balanço e equilíbrio nutricional da população de alta produtividade nas idades de dois, três e quatro anos. Assim, sugere-se que sejam incorporadas aos programas de monitoramento nutricional das florestas de eucalipto parcelas especiais onde sejam coletadas anualmente amostras foliares para o acompanhamento e avaliação do seu status nutricional ao longo do tempo. Essa estratégia ira agregar informações de alta relevância e que trarão um refinamento muito grande às normas utilizadas na avaliação nutricional das florestas de eucalipto.

CONCLUSÕES

- Em plantios jovens de eucalipto no Brasil o uso de parcelas que apresentam crescimento próximo ao potencial desde a fase inicial de crescimento para a composição da população de referência e como consequência das normas nutricionais resultando em normas com menor variabilidade e maior sensibilidade dos diagnósticos produzidos da condição nutricional de plantios jovens.
- Os métodos diagnósticos permitiram detectar que Ca é o nutriente com maior grau de limitação quanto ao balanço e equilíbrio nas florestas avaliadas no Extremo Sul da Bahia.
- A população de alta produtividade apresentou teores de N, P, Ca e Cu superiores a de baixa produtividade.
- A população Ascendente, apesar de possuir teores de nutrientes semelhantes a de alta produtividade não foi capaz de retomar seu ritmo de crescimento, atingindo aos quatro anos produção semelhante a população de média produção.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. C., LANDSBERG, J. J., & SANDS, P. J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. *Forest Ecology and Management*, 193:179-195. 2004
- ALVAREZ V., V.H. & LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices dos nutrientes no sistema integrado de diagnose e recomendação – DRIS. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20, 1992, Piracicaba. Anais... Piracicaba: s.n, p.186-188, 1992.
- ALVAREZ V., V.H. & LEITE, R.A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. v.24, n.1, p.20-25, 1999. (Boletim informativo - SBCS).
- ANGELES, D.E., SUMNER, M.E. & BARBOUR, N.W. Preliminary nitrogen, phosphorus and potassium DRIS norms for pineapple. *HortScience*, 25(6):652-655, 1990.
- BALDOCK, J.O. & SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. *Agronomy Journal* 88:448-456, 1996.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation. A review. *Soil Science* 112: 116-130, 1971.
- BEAUFILS, E.R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Sci. Bull.* 1. University of Natal, Pietermaritzburg, South Africa. 1973. 132p

- BEVERLY, R.B.; HALLMARK, W.B. Prescient diagnostic analysis: a proposed new approach to evaluating plant nutrient diagnostic methods. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 23:2633-2640, 1992.
- BINKLEY, D., STAPE, J. L., BAUERLE, W. L., & RYAN, M. G. Explaining growth of individual trees: Light interception and efficiency of light use by Eucalyptus at four sites in Brazil. *Forest Ecology and Management*, 259(9):1704-1713. 2010.
- BLACK, C.A. *Soil Fertility Evaluation and Control*. Lewis Publisher, 1993, 746p.
- BORGES, J.S. Parametrização, calibração e validação do modelo 3-PG para eucalipto na região do cerrado de Minas Gerais. Viçosa, MG, UFV. 2009. (Dissertação de Mestrado).
- CAMACHO, M. A., SILVEIRA, M. V., CAMARGO, R. A., & NATALE, W. Faixas Normais de Nutrientes pelos métodos ChM, DRIS e CND e Nível Crítico pelo método de distribuição normal reduzida para Laranjeira-Pera. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(3), 193-200. 2012.
- COSTA, A.N. *Uso do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), na Avaliação do Estado Nutricional do Mamoeiro (Carica papaya L.) no Estado do Espírito Santo*. Viçosa, MG, UFV, 1995. 95p. (Tese de doutorado).
- CUNHA, A.C.M.C.M. *Diagnose nutricional de minicépas e previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto por redes neurais*. Viçosa, MG, UFV. 2010. (Tese de Doutorado).
- FERNANDES, L.V. *Normas e determinação de faixas de suficiência para a diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto*. Viçosa, MG, UFV, 2010 (Dissertação de Mestrado).
- FERNANDES, L.V.; NEVES, J.C.L.; LEITE, R.A.; BARROS, N.F.; ALVAREZ V., V.H.; LANA, G.C. Normas e valores de referência para avaliação do estado nutricional de plantios jovens de eucalipto nas regiões de Açailândia (MA) e Sudeste do Pará. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 32, 2009, Fortaleza. Resumos, SBCS, 2009. CD.

- GONÇALVES, J.L.M., BARROS, N.F., NAMBIAR, E.K.S., NOVAIS, R.F. Soil and stand management for short-rotation plantations. In: NAMBIAR, E.K.S. & BROWN, A.G. (eds). Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests. Canberra, ACIAR Australia/CSRIO, 1997. p. 379-418.
- HANSON, R.G. DRIS evaluation of N, P, K status of determinant soybeans in Brazil. *Commun. Soil Science and Plant Nutrition*. 12:933-948, 1981.
- JARREL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. *Advances in Agronomy*. 34:197-224, 1981.
- JONES, C.A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) of interpreting plant analysis. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*. 22: 785-794, 1981.
- KENWORTHY, A. L. Interpreting the balance of nutrient-elements in leaves of fruit trees. In: REUTHER, W. *Plant analysis and fertilizers problems*. Washington: American Institute of Biological Science, p. 28-43, 1961.
- KURIHARA, C.H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose do seu estado nutricional. Viçosa, MG, UFV, 2004. (Tese de Doutorado).
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H., A generalised model of forest productivity using simplified concepts of radiation use-efficiency, carbon balance and partitioning. *Forest Ecology Management*, 95:209-228. 1997.
- LEITE, R. A. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro conilon no Estado do Espírito Santo utilizando diferentes métodos de interpretação de análise foliar. Viçosa/MG, UFV, 1993. (Tese de Doutorado).
- MACKAY, D.C., CAREFOOT, J.M., & HENTZ, T. Evaluation of the DRIS procedure for assessing the nutritional status of potato (*Solanum tuberosum* L.) *Communication in Soil Science and Plant Analyses*. 18:1331-1353, 1987.
- ROCHA, J.B. Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia. Viçosa, MG, UFV, 2008. (Dissertação de Mestrado).

- RODRIGUEZ, M.J. & BESGA, G.S. Derivation and testing nutrient norms for white clover. Proceedings of International Grassland Congress, 16, Nice: ISG, p.53-54, 1989.
- SANCHEZ, C.A., CERDÁ, G.H. & BURDINE, H.W. DRIS evaluation of the nutritional status of crisphead lettuce. Hortscience, 26:274-276, 1991.
- SANDS, P.J. & LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. Forest Ecology and Management. 163:273-292, 2002.
- SERRA, A. P., MARCHETTI, M. E., ROJAS, E. P., & VITORINO, A. C. T. Beaufils Ranges to assess the Cotton nutrient status in the southern Region of Mato Grosso. Rev. Brasileira de Ciência do Solo, 36, 171-181. 2012
- SILVA, G. G. C. Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2006. 102p. (Tese de Doutorado)
- SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V. H. & LEITE, F. P. Avaliação da universalidade das normas DRIS, M-DRIS e CND. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 29:755-761, 2005.
- SILVA, G.G.C. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 132p. (Tese de Mestrado).
- STAPE, J. L., BINKLEY, D., RYAN, M. G., FONSECA, S., LOOS, R. A., TAKAHASHI, E. N., SILVA, C. R., et al. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project : Influence of water, nutrients and stand uniformity on wood production. Forest Ecology and Management, 259(9):1684-1694. 2010.
- STAPE, J. L., RYAN, M. G., & BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* and *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. Forest Ecology and Management, 193, 219-234. 2004.
- SUMMER, M.E. Use of DRIS system in foliar diagnosis of crops at high yield levels. Communication in Soil Science and Plant Analysis. 8:251-268, 1977.

- SVENSON, G.A. & KIMBERLEY, M.O. Can DRIS improve diagnosis nutrient deficiency in *Pinus radiata*? *New Zealand Journal of Forestry Science*, 18:33-42, 1988.
- WADT, P., DIAS, J. R. M., PEREZ, D. V., & LEMOS, C. O. Interpretação de Índices DRIS para a cultura do Cupuaçu. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 36(1):125-135. 2012.
- WADT, P.G.S. Nutritional status of *Eucalyptus grandis* clones evaluated by critical level and DRIS methods. *Revista Árvore*, 28:15-20, 2004.
- WADT, P.G.S. Os métodos da chance matemática e do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) na avaliação nutricional de plantios de eucalipto. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Viçosa-MG. Universidade Federal de Viçosa, 1996. 123p.

CAPÍTULO III

REGIMES CONTRASTANTES DE ÁGUA E NUTRIENTES ALTERAM O ESTOQUE DE CARBONO NO SOLO E NA BIOMASSA DE PLANTAÇÕES DE EUCALIPTO

RESUMO

Povoamentos florestais com eucalipto podem agir como um importante dreno do CO₂ atmosférico, o qual é estocado tanto na biomassa quanto nos horizontes do solo. No Brasil os plantios de eucalipto abrangem mais de 70 % dos atuais 6,35 Mha que são cobertos por floretas plantadas. O efeito da disponibilidade de água e nutrientes na produtividade florestal é bem documentado em regiões tropicais, entretanto não muito é conhecido sobre os efeitos desses recursos sobre os estoques de carbono (C) no solo. Foram avaliados os estoques de carbono em um experimento em blocos com plantas de eucalipto sobre contínuo fornecimento de água (via irrigação), água mais nutrientes (via fertirrigação) e controle (água via precipitação) ao longo de uma completa rotação na região centro-leste de Minas Gerais. Cinco árvores de cada parcela experimental foram amostradas no final da rotação, 81 meses após o plantio. As árvores foram derrubadas e os estoques de C foram determinados em cada componente da árvore, considerando parte aérea e raízes. A taxa de queda de litter foi estimada usando seis coletores espalhados aleatoriamente na área de cada parcela. A camada de solo de 0-20 cm foi amostrada aos 6, 18 e 32 meses após o plantio, para quantificar as mudanças nos estoques de C no solo ao longo da rotação. As camadas 0-20; 20-40; 40-60 e 60-100 cm foram amostras no final da rotação (81 meses) para quantificar os efeitos dos tratamentos nos estoques de C e na abundância natural de ¹³C. Solos oriundos de áreas de pastagem e floresta nativa adjacentes à área experimental também foram amostradas e sua abundância natural de ¹³C foi determinada e utilizada para estimar a proporção de do C derivado do eucalipto após a retirada da pastagem para o plantio do eucalipto. O tratamento de fertirrigação induziu um aumento de 29 e 20 % nos estoques de C na biomassa de parte aérea e no litter, respectivamente, quando comparada ao tratamento controle. Para os estoques de C nas raízes houve uma redução de 29 %. Não houve efeito significativo da aplicação de água. Entretanto, os tratamentos de irrigação levaram a um maior estoque de C no solo e a valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais negativos, indicando que o aumento no suprimento de água aumentou tanto a quantidade quanto a proporção de C oriundo do eucalipto na matéria orgânica do solo no final da rotação. Por outro lado a fertirrigação induziu a uma maior taxa de decomposição da MOS e reduziu a proporção de C derivado de eucalipto na MOS.

CONTRASTING WATER AND NUTRIENTS REGIMES ALTER CARBON STORAGE IN SOIL AND BIOMASS OF EUCALYPT PLANTATIONS.

ABSTRACT

Eucalypt plantations can act as important sinks of atmospheric CO₂, which can be stored both in tree biomass and in the upper soil layers. In Brazil, eucalypt stands comprise > 70 % of the 6.5 Mha covered by forest plantations. Effects of water and nutrient availabilities on forest productivity are well documented in tropical regions, but little is known about the effects of resource availability on carbon (C) stocks belowground. We evaluated C stocks in experimental design with blocks for eucalypt stands under continuous irrigation, fertirrigation and rain fed conditions (no irrigation or fertirrigation) over a full rotation in central Brazil (Minas Gerais state). Five trees within each experimental plot were sampled at the end of the rotation, 81 months after planting. The trees were cut at the ground level and the C stocks were determined within each biomass component above and below ground. Litterfall was estimated using six littertraps per plot. The 0-20 cm soil depth was sampled at 6, 18 and 32 after the stand establishment (five per plot) to quantify the changes in soil C stock throughout the rotation. The 0-20; 20-40; 40-60 and 60-100 cm soil layers were sampled at the end of the rotation (age 81 months) to assess the effect of treatments on C stocks and ¹³C natural abundance. Soils from adjacent pasture and native forest were also sampled 81 months after treatment establishment and ¹³C natural abundance was measured to assess the proportion of C derived from eucalypts after afforestation of pasture. Fertirrigation led to 29 %, 20 % higher C stocks in forest biomass aboveground and in the forest floor than in the rain fed treatment, respectively. For the aboveground C stocks fertirrigation led to a decrease of 29 %. No significant effect of water application was observed. However, the irrigation treatment had the highest C allocation to fine roots at the final age (81 months). Irrigation led to the highest soil C stock and the more negative δ¹³C values in the soil, which indicated that water supply increased both the amount and the proportion of eucalyptus C in SOM at the end of the first rotation after afforestation. On the other hand, the fertirrigation also induced to higher SOM turnover and reduced the proportion of eucalyptus-derived C to SOM.

Keywords: Fertirrigation; Irrigation; Carbon Isotopes; Carbon Stocks; Nitrogen; Carbon Turnover.

1. INTRODUCTION

Due to its high growth rate, short rotation eucalypt act as carbon (C) sink (Hollinger et al., 1993), and can contribute to achieving the goals agreed upon the Kyoto Protocol for reducing emissions of greenhouse effect gases (Guo et al., 2005). In Brazil, forest stands, especially those with fast growing species occupy an area of 6.5 Mha. The areas planted with different species and hybrids of *Eucalyptus* spp. cover more than 70 % of this total (ABRAF, 2012). Thus, the determination of ecosystem C budget is necessary for forest growth comprehension as well as to measure the plantation capacity in C sequestration, especially in response to different environmental conditions (Stape et al., 2008).

The ability of planted forests in C stocking is usually related positively to the net primary production (NPP), which is usually high in eucalyptus (Stape et al., 2008; Lourenço, 2009; Stape et al., 2010). Stape et al. (2008) found values of NPP up to 2.7 kg m⁻² yr⁻¹ of C in commercial plantations of eucalyptus trees in the Brazilian northern coastal plain. The authors also reported a great influence of the increased availability of water upon the rate of C accumulation in the forest biomass, however there was no effect of applying additional nutrients beyond current recommendations. Nevertheless large gains in productivity have been observed in eucalypt plantations in response to increased availability of water and nutrients (Reed & Tomé, 1998, Hunter, 2001, Madeira et al., 2002, Silva, 2006, Lourenço, 2009 and Stape et al., 2010). The greater availability of water and nutrients increases the proportion of C allocated to the stem and leaves instead of roots (Litton et al., 2007) changing the C input to soil and may alter C sequestration in the soil organic matter (SOM). However, little is known about the effects of controlled addition of water and nutrients on stocks of soils C under eucalypt stands.

While the forest stands grows, C is accumulated in the biomass and also transfer to the SOM (Lal et al., 1998). It is estimated that 50 % of the total C in forest ecosystems in the tropical region is in the soil (Lal, 2005). On a global scale, approximately 70 % of C photosynthetically fixed in the different terrestrial ecosystems is channeled into the soil through litter and roots (Shimel, 1995). Plant root have a strong influence on soil C as reported by Jobbágy and Jackson (2000) who related root system distribution with vertical placement of C in the soil. Fine roots (≤ 2 mmdiameter) provide an important

contribution to the formation and maintenance of C stocks in the soil, that in addition to physical protection (Rasse et al., 2005), because of their high turnover rate and constant input of C in the soil via deposition of organic compounds in rhizosphere throughout the growing period (Kuzyakov & Domanski, 2000). Jones et al. (2004) estimated that the plants rhizodeposits corresponded to 2 to 4 % of net C fixed via photosynthesis.

With temperate climate and mean annual precipitations of 1210 mm King et al. (2002) observed a significant increase in biomass of fine roots in *Pinus* trees in response to supplemental irrigation. Eucalypt trees under tropical climate did not change C allocation to roots in response to irrigation as observed by Ryan et al. (2010). Moreover, Stape et al. (2008), in a study with controlled supply of water and nutrients in short rotation eucalypt in the Brazilian coastal plain, found an increase ranging 10 to 13 % in the flow of C to roots in response to supplemental water and fertilization. However, it has not been evaluated if the increased C flow to roots benefits soil C stocks. The greater C input to the soil through plant litter may be counter balanced by the faster SOM cycling with the increased water and nutrient availability. In fact, previous studies have shown that SOM turnover rates increased when water (Thomsen et al., 1999) and nutrient supply, especially N, (Neff et al., 2002; Waldrop et al., 2004) are not limiting.

In temperate forest soils the increased N availability accelerates decomposition of the more labile SOM, but increases the stability of organic compounds associated with soils clay-minerals (Neff et al. 2002; Hagedorn et al., 2003). Binkley et al. (2004) investigating the replacement of soil C pool originating from sugar cane (C₄ plants) by C derived from eucalypt trees (C₃ plants) and found no effect of N addition on the rate of C substitution of whole soil C.

Our hypothesis was that the combined application of water and nutrients would improve C stock in the biomass due to an increase in forest productivity (Stape et al., 2008 and Stape et al., 2010), and change C flow to fine roots (Litton et al., 2007 and Ryan et al., 2010). The turnover of SOM fraction stocks could alter the soil C stock, the ¹³C signature and the contribution eucalypt derived C to the soil C pool. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of controlled changes in water availability and nutrients on above and belowground C stocks in short rotation eucalypt plantations.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study site

The experiment was installed in October 2001 in Santana do Paraíso county, Minas Gerais State, (19°18'23" S, 42°22'46" W). The site is 220 m above sea level in the RioDoceValley, a major eucalypt growing region in Brazil. According to the Köppen's classification the region's climate is Aw (rainy from October to April and dry from May to September), average annual rainfall is 1,163 mm, the mean annual temperature is 25.2 °C and relative humidity is 78 %.

In this region, the eucalyptus plantations were first planted in degraded pasture beginning in 1969. The pasture were established in the 1930s after slashing and burning the native forest and were used for extensive, low input cattle ranching up to the 1960s, when conversion to the eucalyptus plantation started. Fertilizer and lime were not used. The pastures throughout the region are usually overgrazed and surface, interrill erosion was apparent. Extensive areas with such degraded pastures remain in the region. The dominant grass species was *Melinis minutiflora*, and the first eucalypt stands were planted manually after burning the pasture. After seven years of growth the trees were clear cut, and the trunk removed from the area. Tree residues were burned to clear the area for conducting the second rotation. The burning operation was repeated seven years later for the third rotation. Burning of the forest residues was phased out with the fourth rotation. In all rotations debarking was performed off-site. The second rotation was coppiced and the others were new plantings. Except harvesting, management operations were carried out manually due to the steep relief (Lima et al., 2006).

2.2. Experimental design

The experiment was set upon a steep slope (ranging from 10 to 35 %). The soil was classified as a "Cambissolo Háplico" according the Brazilian classification (Menezes, 2005) or Inceptisol according to the US Soil Taxonomy. The clay content is high, ranging from 58 to 65 % over the 0 to 60 cm depth. Prior to the experiment setup, soil samples were collected along the profile for chemical analysis. The C content in the layer 0 - 60 cm varied between 1.04 and 0.55 dag kg⁻¹, P content (Mehlich-1) was between 1.76 and 1.10 mg dm⁻³, available K ranged between 30.5 and 11.2 mg dm⁻³, Ca and Mg ranged between 0.45 to 0.11, and from 0.14 to 0.08 cmol_c dm⁻³, respectively. Soil pH (H₂O) varied little along the soil profile (4.52 to 4.48).

One month before planting, the experimental area received 3 Mg ha⁻¹ of lime (40 % CaO, 10 % MgO and 15 % moisture) broadcast at the soil surface, and 0.8 Mg ha⁻¹ of Gafsa rock phosphate applied in a furrow at 30 cm depth, along the planting rows. The eucalypt seedlings were manually planted in October 2001, in a 3.0 x 3.3 m spacing. The final tree stocking was 1001 stem per hectare. The size of inner plots was 18 mx 24 m.

The experiment was set up in 4 blocks and 3 treatments. A different eucalypt clones (two open pollination “Rio Claro”hybrids, a *Eucalyptus grandis* clone and a hybrid of *E. grandis* x *E. urophylla*, “urograndis”) was planted. Each clone was considered as a repetition. The treatments were:

- Rain Fed: rain fed from 1 to 81 months after planting. Natural rainfall of 7.700 mm .
- Irrigated: irrigation from 1 to 81 months after planting. Same amount of water applied in the rain fed plus 4,000 mm;
- Fertirrigated: fertirrigation from 9 to 81 months after planting. Same amount of water applied in the rain fed plus 4,000 mm;

The distribution of water applied in the experimental area by rain and by irrigation can be seen in figure 1.

All experimental plots received the same fertilization before planting and during the first year. The amount of nutrients applied was calculated according to the nutrient demand curve estimated by the NUTRICALC® software (Barros et al., 1995). The amount of fertilizers applied after planting were 11 kg ha⁻¹ of N, 24 kg ha⁻¹ of P, 200 kg ha⁻¹ of K and 6 kg ha⁻¹ of B.

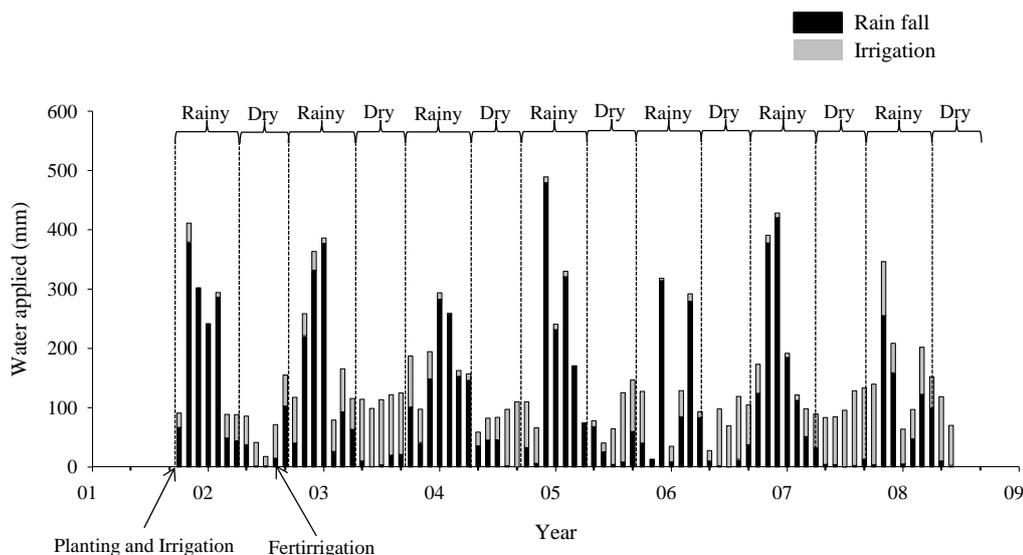


Figure 1. Distribution of the water supply by irrigation and rain fall throughout the eucalypt rotation.

Right after the seedlings were planted, a drip irrigation system was installed in the irrigated and fertirrigated plots. The water demand was estimated by the reference method evapotranspiration - ET_0 , calculated according Penman-Monteith.

The fertirrigated treatment began 9 months after planting. The application rate of nutrients in the fertirrigated treatment from August 2002 to June 2008 was: 328, 7.0, 397, 177, 24, 61, 0.9, 1 and 0.8 $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$ of N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu and B, respectively.

2.3. Litter fall

Litter fall was determined monthly for 28 months at the end of the rotation (November 2005 to February 2008) for each plot using litter traps scattered randomly throughout the plots. Based on that information we estimated litter fall throughout the rotation. We assumed that the deposition rate of litter between 1 and 2 years was 50 % of the amount measured by the litter traps, between 2 and 3 years it was 80 % and from 3 years until the moment of harvest we assumed that the litterfall was 100 % of the measured values (Neves, 2000). Thus, the monthly accumulated litter ($S(i+1)$, $Mg\ ha^{-1}$) was equal to the sum between litter deposition for that month (L_i , $Mg\ ha^{-1}\ month^{-1}$) and the litter which had already fallen (S_i , $Mg\ ha^{-1}$), as proposed by Neves (2000):

$$S(i+1) = L_i + S_i$$

2.4. Tree and soil sampling

Five trees representing the range of diameter at 1.3 m height (*dbh*) were sampled in each plot at the end of the rotation, in June 2008. The trees were felled and their components (stem, bark, branches and leaves) were separated and weighed. Fresh samples of biomass components were collected in the field and taken to the laboratory where they were oven-dried at 65 °C until constant weight. The total dry weight of the components was calculated from the fresh weight of each component and its moisture content. This information allowed us to obtain allometric equations for each eucalypt clone, and then to estimate the stand C stock based in the forestry inventory. To determine the biomass of coarse roots (>2 mm diameter), one tree in each plot whose *dbh* represents the average *dbh* of the plot, had the soil contained in a surface area of 1 m², around the tree stump, excavated to a depth of 100cm. All soil was passed through a 2 mm sieve to separate the medium and coarse roots. Fresh samples of roots were taken for determination of moisture content (65 °C) and dry weight.

Sampling of fine roots (< 2 mm diameter) was carried out for a quarter of the area of all sampled trees, using a 4 cm diameter probe, for the 0-20, 20-40 and 40-60 cm layers, total of 9 samples per tree. Subsequently, the soil samples were placed in sieves and followed by manual separation of fine roots from the soil mass. Fine roots occurs in deeper soil layers (Neves, 2000), but it is expected that the first 60 cm contain 90 % or more of the total fine roots biomass (Bouillet et al., 2002). After separation, samples of fine roots were washed under running tap water, immersed in a HCl solution (3 %) for 30 seconds, and then, in distilled water (Bataglia et al. 1978) and then put to oven-dry (65 °C) until constant weight.

Five soil samples were collected in a 0-20 cm layer at 6, 18, 32 months after planting, and one composite sample was prepared for chemical analyses for each stand age. Soils were sampled representatively in the planting rows and inter-rows. We took a final sample at 81 months after planting in four different soil layers (0-20; 20-40; 40-60 and 60-100 cm). Additional soil samplings were performed in nearby pasture and native forest, with the same soil characteristics of the experimental area. Three replicates were randomly assigned to each area. Each replicate was separated by more than 500 m and consisted of a composite of soil samples randomly collected 20 m apart from each other. Also, undisturbed samples were collected for bulk density determination. Eucalypt-derived C contribution to SOM in a former pastureland after a 34 years of cultivation

was more evident in upper soil layers (Lima et al., 2006). Based in this result we only estimated the analysis of proportion of eucalypt C in SOM for the 0-20 cm soil layer.

2.5. Chemical and isotopical analyses

Soil sub-samples were ground in an agate mortar to pass a 100 mesh (0.149 mm) sieve for TOC determination by a wet-chemical procedure (Yeomans and Bremner, 1988). For ^{13}C isotope natural abundance analysis soil sub-samples taken at 81 months after planting were dispersed and passed through a 53 μm sieve resulting in two fractions of the soil organic matter (SOM): particulate organic matter (POM, $\geq 53 \mu\text{m}$) and organic matter associated with the silt and clay fractions (MAOM, $\leq 53 \mu\text{m}$) (Cambardella & Elliott, 1992). These two fractions were oven-dried (60 °C), ground in an agate mortar until pass through a 100 mesh (0.149 mm) sieve, and had their $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratio measured in a continuous flow isotope ratio mass spectrometer (ANCA-GLS Sercom, Crewe, UK). The natural abundance of the ^{13}C isotope ($\delta^{13}\text{C}$) was expressed in parts per 1000 (‰) compared to the Pee Dee Belemnite standard (PDB) (Bernoux et al., 1998).

The proportion (%) of C-C4 species (old C derived from pasture plants with C4 photosynthetic pathway) for each soil layer was calculated according to Vitorello et al. (1989):

$$\%C4 - C = (\delta - \delta_s / \delta_p - \delta_s) \times 100$$

where δ is the natural ^{13}C abundance in soil samples, δ_s is the natural ^{13}C abundance in soil samples with no contribution from the C4 species, that is, the forest soil, and δ_p is the natural ^{13}C abundance of grass material.

The percentage of the soil C derived from eucalyptus ($\%C_{\text{euc}}$) was calculated assuming the same approach used by Binkley et al. (2004) in a former sugarcane soil converted to eucalyptus (first rotation) experiment in Hawaii:

$$\%C_{\text{euc}} = (100 - \%C4 - \%C_{\text{natfor}})$$

where $\%C_{\text{euc}}$ is the proportion of SOM derived from the eucalyptus, $\%C4$ the proportion of SOM derived from the pasture, and $\%C_{\text{natfor}}$ is the proportion of SOM derived from the former native forest.

Calculations of C stocks in the biomass considered an average C content equal to 50 % (Neves, 2000, Madeira et al., 2002). The same value was considered in the calculation of C stocks in the litter. Soil C stocks in the distinct SOM fractions and soil

layers were calculated by multiplying the organic C content by the soil mass. We used the soil bulk density of the native forest in this calculations, in order to avoid any overestimation of the C stocks caused by soil compaction.

2.6. Statistical analyses

To test the effect of the irrigation and fertirrigation treatment we analyzed the data as complete randomized design with four blocks, each eucalypt clone as an experimental repetition, what allowed us to build a valid statistical ANOVA. The effects of the irrigation and fertirrigation treatments upon the C stocks in the fine roots biomass and in the soil inside each soil layer were analyzed as a split-plot design. We used contrasts to compare the C stocks between treatments. The contrasts were: C₁: Irrigated vs Rain Fed – to test the effect of water supply; C₂: Irrigated vs Fertirrigated – to test the effect of additional nutrient supply; C₃: Fertirrigated vs Rain Fed – to test the effect of nutrients supply with no water limitation. We could not perform a statistical analyzes for the litter data because we only had one data per treatment. Statistical analyses were performed with the software STATISTICA 8.0 (StatSoft, 2007) using a *P-value* < 0.1 for evaluating the significant differences between treatment effect. No data transformation was performed to meet the ANOVA assumptions.

3. RESULTS

3.1. Carbon in the biomass

Table 1 presents C stocks in biomass of eucalypt trees 81 months old. Eucalypt trees that received constant application of water and nutrients (fertirrigated treatment) grew more and accumulated higher amounts of C in their components (wood, bark, branches, leaves and roots). The exception was the fine roots C pool which accumulated more C in response to the irrigation treatment (Table 1, Contrasts C₁, C₂ and C₃). Fertirrigation also resulted in higher total C stock in the whole plant (112.7 Mgha⁻¹), and, there was no difference in total plant biomass C stocks (above plus belowground) between irrigated and rain fed treatments (Table 1, Contrasts C₁, C₂ and C₃).

Table 1. Carbon stocks in the different eucalypt tree components under distinct water and nutrient availability.

Tree component	Treatment			Contrasts ¹		
	Irrigated	Fertirrigated	Rain Fed	C ₁	C ₂	C ₃
	Carbon Stocks (Mg ha ⁻¹)					
Stem	70.0	86.4	65.9	<i>ns</i>	***	***
Bark	5.4	7.0	6.8	***	***	<i>ns</i>
Leaves	1.6	1.7	1.3	*	<i>ns</i>	**
Branches	4.6	5.9	5.0	<i>ns</i>	*	⁰
Coarse Roots (> 2 mm diameter)	10.6	11.2	8.0	⁰	<i>ns</i>	*
Fine Roots (< 2 mm diameter)	0.7	0.6	0.4	***	***	***
Total Tree Biomass	92.8	112.7	87.2	<i>ns</i>	***	***

¹C₁: Irrigated vs Rain Fed; C₂: Irrigated vs Fertirrigated; C₃: Fertirrigated vs Rain Fed. ***, **, *, ⁰ e *ns*, significant in 0.1 %, 1 %, 5 %, 10 % and not significant by F test, respectively.

For a better comprehension of the distribution and contribution of fine roots to the SOM throughout the soil profile we studied the fine roots C stocks in three different soil layers as shown on Figure 2. It was found that the trees of irrigated and fertirrigated treatments had the highest C stock in biomass of fine roots in the superficial soil layer (0-20 cm). We also found a good correlation between the fine roots biomass and TOC (Total Organic C) on the irrigated and rain fed treatments ($r = 0.65$; $p = 0.022$; $n = 12$ and $r = 0.88$; $p < 0.001$; $n = 12$, respectively), but not between fine root biomass and SOM for the fertirrigated treatment ($r = 0.33$; $p > 0.1$; $n = 12$).

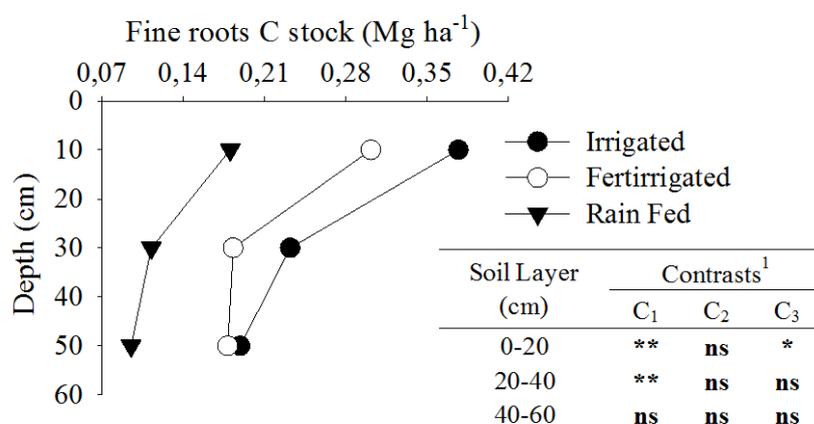


Figure 2. Fine roots C stocks in different soil layers under rain fed and controlled application of water and nutrients. ¹C₁: Irrigated vs Rain fed; C₂: Irrigated vs Fertirrigated; C₃: Fertirrigated vs Rain fed. **, * and **ns**, significant at 1 %, 5 % and not significant by F test, respectively.

3.2. Carbon in the litter layer

The superior plant growth in response to fertirrigation resulted in greater litter C. The amount of C accumulated in the litter throughout the rotation reached 22.7 Mg ha⁻¹ in the fertirrigated treatment, and this value was 1.4 and 1.2 times greater than those found in the irrigated and rain fed treatments, respectively (Fig.3).

The C remaining in the litter layer 81 months after the eucalypt plantation was related to the litter fall and ranked as fertirrigated > irrigated > rain fed (Fig. 3). Thus, the decomposition constant *k* equals to 0.43; that is, the *t*_{1/2} values was in order of 2.4 years.

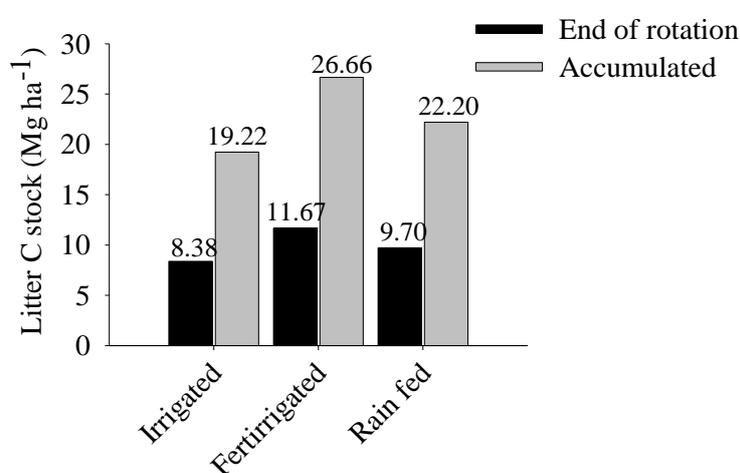


Figure 3. Accumulated and end of rotation C stocks in the litter layer for eucalypt stands under rainfed, irrigation and fertirrigation managements in the Rio Doce Valley, Brazil.

3.3. Carbon in the mineral soil

Figure 4 shows the pattern of TOC in the 0-20 cm soil layer since six months after planting until the end of the stand rotation. During the first 32 months all treatments showed a linear increase in C stocks and there were no difference between treatments. Afterwards, the irrigation and rain fed treatments continued to increase soil C stock, while in fertirrigated treatment we observed a reduction in soil C stocks. On the other hand, rain fed and irrigated treatments had their C stocks increased by 55 and 59 %, respectively. At the age of 81 months all TOC stocks among treatments differed, with larger soil C stocks in the irrigated, followed by the rain fed and then the fertirrigated treatment.

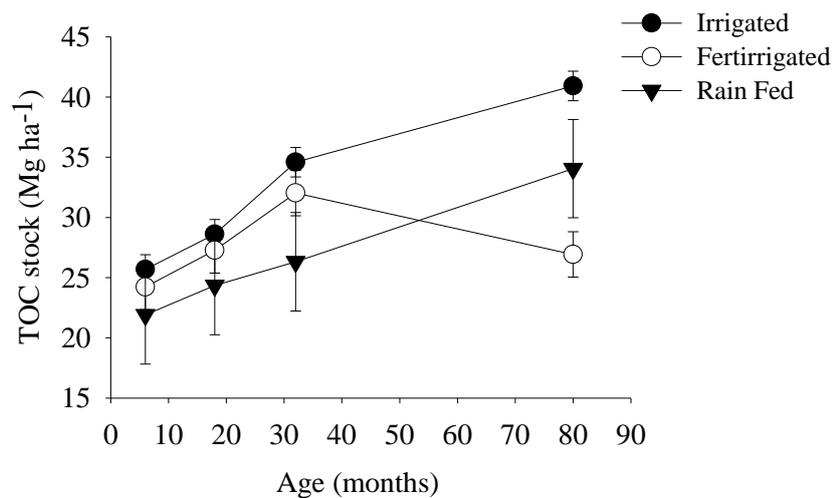


Figure 4. Total Organic Carbon in the 0-20 cm soil layer in four different moments in eucalyptus stands under irrigation and fertirrigation. Vertical bars represent the confidence interval ($\alpha = 0.9$)

The soil total C stocks (TC_{soil}) in the 0 – 100 cm soil layer were lower in the fertirrigated treatment (Contrasts C_2 and C_3). The irrigated and rain fed treatments, which did not differ from each other ($p > 0.10$, Contrast C_1) (Fig.5).

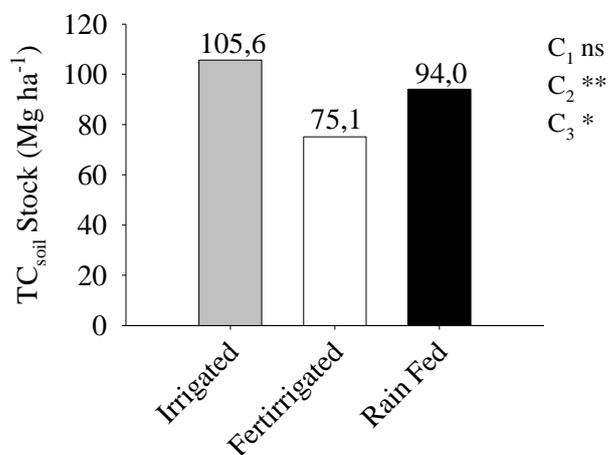
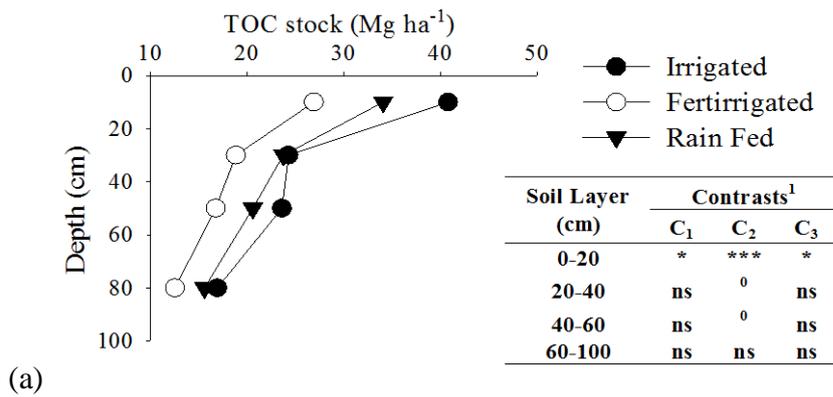
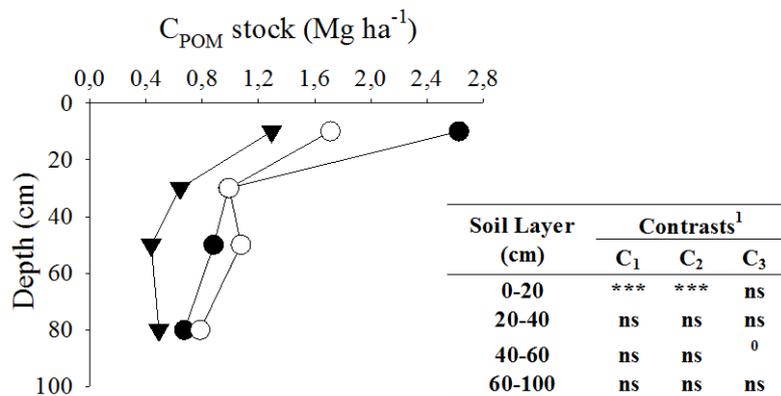


Figure 5. Total C stock in the 0 - 100 cm soil layer in three eucalyptus plantation under different treatments of water and nutrients. C_1 : Irrigated vs Rain fed; C_2 : Irrigated vs Fertirrigated; C_3 : Fertirrigated vs rain Fed. **, * and ns, significant at 1 %, 5 % and not significant by F test, respectively.

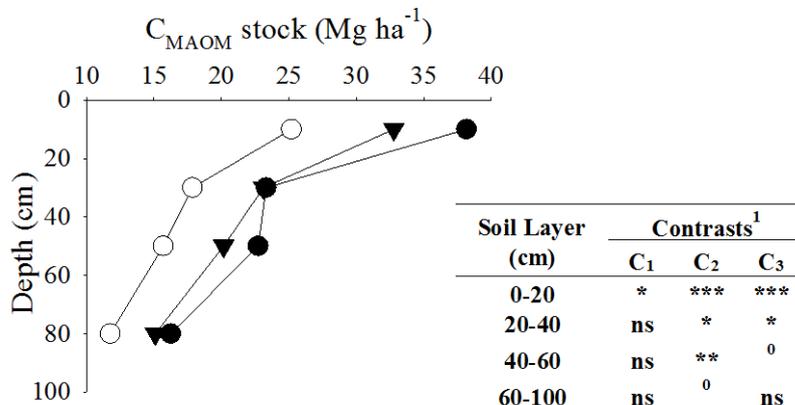
We studied the distribution of TOC throughout the soil profile and we found that the water and nutrient treatments affected the distribution of TOC mainly in the 0-20 cm soil layer (Fig. 6a, contrasts C_1 , C_2 , C_3) and the effect are consistent with the results mentioned earlier for independent soil samples (Fig. 3).



(a)



(b)



(c)

Figure 6.(a) Total C stock (TC_{soil}); (b) C stock in the POM pool (C_{POM}) and (c) C stock in the MAOM pool (C_{MAOM}) in different soil layers in response to irrigation and fertirrigation treatments. ¹C₁: Irrigated vs Rain fed; C₂: Irrigated vs Fertirrigated; C₃: Fertirrigated vs Rain fed. ***, **, *, 0 e ns, significant in 0.1 %, 1 %, 5 % and 10 % and not significant by F test, respectively.

However, in the deeper soil layers (20-40 and 40-60 cm) the only significant difference was found between the irrigated and fertirrigated treatments with lower C stocks in the fertirrigated soil. There was no significant difference among treatments in the 60-100 cm soil layer (Fig. 6a, contrasts C₁, C₂, C₃). The C stock in the POM fraction (C_{POM})

corresponded to a mean of 5 % of the TOC. In the 0-20 cm soil layer the irrigation led to the largest C_{POM} pool, but there were no difference between the rain fed and fertirrigated treatments. In deeper soil layers the treatments had no effect in the C_{POM} pool (Figure 6b, contrasts C_1 , C_2 , C_3). Most of the soil C was allocated to the MAOM fraction (C_{MAOM}), where the irrigated soil had the largest and fertirrigated soil showed the lowest C_{MAOM} pool on the 0-20 soil layer. There were no difference between C_{MAOM} in the irrigated and rain fed treatments in deeper soil layers, but the soil under these treatments always had greater C_{MAOM} pool than that in the fertirrigated treatment (Fig.6c, contrasts C_1 , C_2 and C_3).

3.4. ^{13}C natural abundance

Figure 7 shows the effect of water and nutrient treatments upon the $\delta^{13}\text{C}$ values of the soil C_{POM} and C_{MAOM} pools. In the C_{POM} (Fig. 6a) there were little statistical difference between treatments, where fertirrigated and irrigated treatments had more negative $\delta^{13}\text{C}$ values in the upper layers. Contrastingly, the rain fed treatment increased the $\delta^{13}\text{C}$ values in deeper soil layers. They were on apparent trend for reduction of the $\delta^{13}\text{C}$ (less negative) values in deeper soil layers (Fig. 7a).

The irrigation decreased (more negative) the $\delta^{13}\text{C}$ values in the C_{MAOM} pool in the upper soil layers (Fig. 7b). The C_{MAOM} pool in fertirrigated and rain fed soils had less negative $\delta^{13}\text{C}$ values in the first soil layers. The treatments had greater impact on the C_{MAOM} pool in which significant effects were more frequently observed (Fig.7b, contrasts C_1 , C_2 and C_3).

3.5. Contribution of eucalyptus to the SOM

Assuming that the nowadays degraded pastures represent those pastures at the time of eucalypt establishment the estimated proportion of SOM derived from C4-C in the 0-20 cm soil layer was 76 %. Approximately 40 years after the first rotation the proportion of SOM derived from the eucalypt C in the 0-20 cm layer was higher in the irrigated plot (85 %), whereas in the fertirrigated and rain fed treatments 65 and 49 % of the SOM derived from the eucalypt, respectively. Since the whole experimental area was a homogeneous commercial eucalypt stand that was submitted to the same management practices, from 1969 to 2001, before setting up the current experiment, such differences are most likely due to the treatment effect.

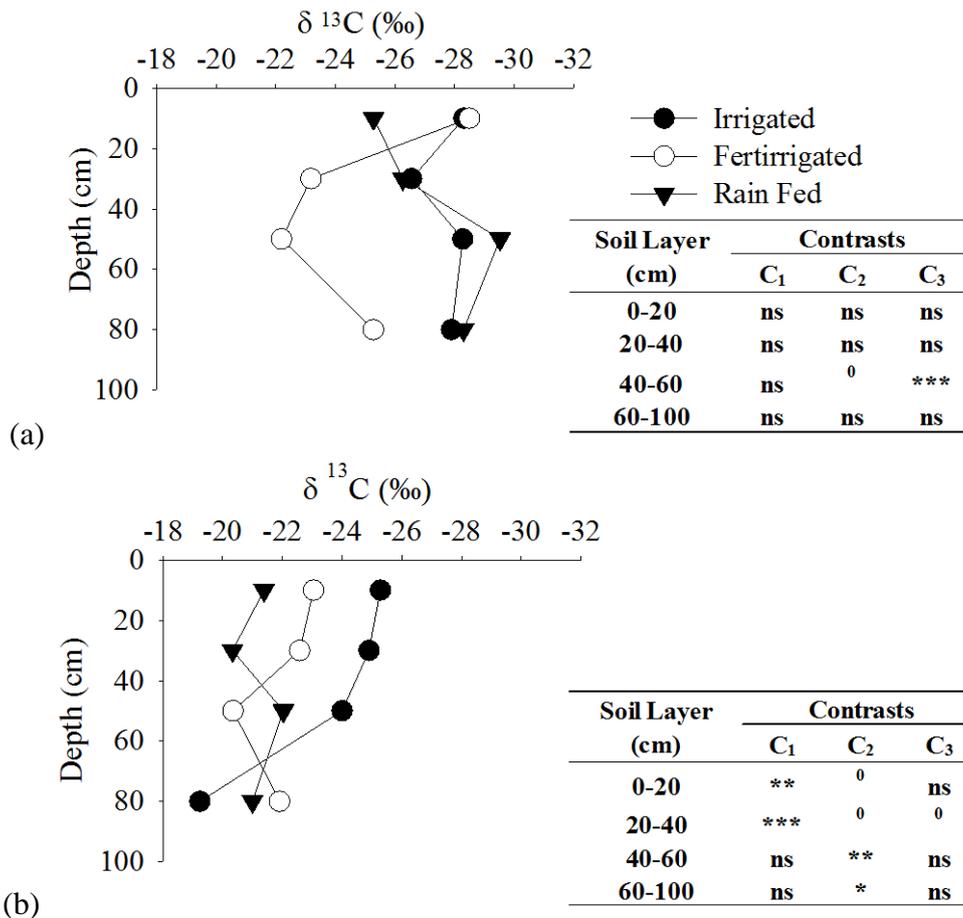


Figure 7. ^{13}C natural abundance ($\delta^{13}\text{C}$) in the C_{POM} pool (a) and C_{MAOM} pool (b) in response to the water and nutrient treatments. C₁: Irrigated vs Rain fed; C₂: Irrigated vs Fertirrigated; C₃: Fertirrigated vs Rain fed. ***, **, *, 0 e ns, significant in 0.1 %, 1 %, 5 % and 10 % and not significant by F test, respectively.

4. DISCUSSION

We initially expected a large increase in C storage in the trees biomass in response to irrigation after 81 months. The lack of growth response to the irrigation treatment contrast with other authors findings, whom point to a positive response to irrigation (Madeira et al., 2002, Maier et al., 2004; Stape et al., 2008). In the current experiment the irrigated treatment trees received the same amounts of nutrients applied to the rain fed treatment, what may not have been enough for the trees to sustain the same growth rate that was observed in the fertirrigated treatment trees. Alternatively the rainfall was sufficient to sustain growth in the rain fed in the same rate as the irrigated.

Fine roots play an important role in the maintenance of C stocks in soils (Rasse et al., 2005). It is estimated that the absolute contribution of fine roots to the stable fractions of soil C is between 1.2 and 6.1 times higher than shoot C (Six et al., 2002).

The increase in C allocation to the fine roots that was observed in this study as a response to the irrigation and fertirrigation was also reported by King et al. (2002) and Maier et al. (2004) in *Pinus* stands and Madeira et al. (2002) for eucalyptus stands. Surprisingly, there was a positive correlation between the fine roots biomass and soil C stock in the irrigated but not in the fertirrigated treatment, what can be an evidence that in the later the fine roots C is not being efficiently stabilized in the soil C pool. Fine roots have high metabolic activity, and a high turnover rate, i.e., the C stock in the fine roots biomass observed at trees harvest under represents the total C that was allocated for roots throughout the rotation. Rasse et al. (2005) estimated that the total C allocated to fine roots plus rhizodeposition reaches 200 % of measure fine root biomass C. Thus, the amount of C input to soil via fine roots could reach up to 1.42, 1.14 and 0.7 Mg ha⁻¹ for the irrigated, fertirrigated and control treatments, respectively.

The soil C storage in the 0-20 cm layer throughout the rotation (Fig. 3) highlights the potential of short-rotation eucalyptus stands act to as high C sinks, and thus, providing a great contribution to reduce the atmospheric CO₂. Studies concluded that eucalyptus cultivation increased soil C stock after afforestation in former pasturelands after 40 yrs (Lima et al., 2006) and after a conversion of native Brazilian savana to eucalypt (Maquère et al., 2008).

In the present study, the fertirrigated treatment favored soil C storage in the 0-20 cm layer, particularly up to 32 months after planting (Fig. 3). Afterwards, the C stock in this layer began to decrease, and this reflected in the whole soil profile (0-100 cm) resulting in the fertirrigated treatment having the lowest soil C stocks by the end of rotation (Fig. 4). This results was not expected since the relationship between net primary productivity (NPP) and soil C stocks in planted forest stands is positive (King et al., 2002, Madeira et al., 2002 and Stape et al., 2008). The fertirrigated treatment had lower C stocks in all soil layers, (Fig. 5a and 5c) especially in the C_{MAOM} pool (Fig. 5c), while the C_{POM} pool of the fertirrigated treatment was not different (Fig. 5b) when compared with that in the rain fed treatment. In other words, the large amount of C that had been allocated to fine roots biomass and litter in the fertirrigated treatment (Table 2) was stabilized neither in the C_{POM} nor in the C_{MAOM}.

Berg and Matzner (1997) concluded that N and lignin content have an overall role in the retardation of litter decomposition. Prescott (2010) reports a negative correlation between the N:Lignin ratio and litter decay rates. Zhang et al. (2008) in a

meta-analysis observed that the two factors most directly influencing litter decay rates were both litter quality factors – the C:N ratio and the total nutrient content of the litter. Ribeiro et al. (2002) also found no effect of the application of water and nutrients on the rate of deposition and decomposition of *E. globulus* litter in Portugal. The C stocks in the litter layer observed in this work were greater than those reported by Neves (2000) in eucalyptus stands located in the Brazilian coastal area. This may be reflecting the higher rates of litter decomposition in that area when it is compared to our study site.

Cleaveland and Townsend (2006) observed increases in the rate of CO₂ efflux from the soil in response to increased availability of N and P in tropical forests of Costa Rica. The authors also reported that this enhanced CO₂ efflux was mainly due to greater mineralization rates, via heterotrophic respiration, of more labile C compounds. Using soil cores from temperate forests Bradford et al. (2008) observed that the combined application of N and P accelerated the decomposition of organic matter fractions associated with soil minerals. In temperate forests Woldrop et al. (2004) also found an increase in microbial respiration in response to increases in the availability of N.

We believe that the fresh C inputs from fine roots biomass, associated to high rates of nutrients supply (Table 1), especially N and P, has led to substrate induced organic matter decomposition known as priming effect (Kuzyakov et al., 2000, Fontaine et al., 2004; Fontaine et al., 2007). The phenomenon, basically is a strong short-term change in the turnover of SOM caused by the input of easily decomposable energy sources, such as labile C and nutrients (Kuzyakov et al., 2000). In a review, Blagodatskaya and Kuzyakov (2008) report that abiotic factors, such as soil moisture and nutrient availability act indirectly as catalysts for the process of priming effect, by stimulating the activity of microorganisms that carry out the degradation of SOM. We were not able to quantify the priming effect in our soil, but we believe it occurred because there was a large decrease in the SOM content after the 32^o month after planting (Fig. 4).

The observed trend for increased (less negative) values of $\delta^{13}\text{C}$ in the fertirrigated C_{POM} throughout the soil profile may be an indication of a preferential decomposition of C3 eucalypt derived-C. It is apparent that the contribution of the eucalypt derived-C is lower in deeper soil layers (Fig. 6a), even with an elevated fine roots biomass in deeper soil layers (Fig. 1). Oppositely, the $\delta^{13}\text{C}$ values of the C_{POM} pool in the irrigated and rain fed soil indicated that the present C is derived mainly from

eucalypt, once they present the lowest $\delta^{13}\text{C}$ values (Fig. 6a). The C_{POM} pool is the least protected fractions of SOM (Cambardella and Elliot, 1992) and is mainly comprised by partly decomposed plant residues, thus, is very sensitive to management practices (Six et al., 2002). Neff et al. (2002) observed that the addition of N led to a faster turnover of more labile fractions of soil organic C, while in the stable fractions no changes were observed.

The more negative $\delta^{13}\text{C}$ values of C_{MAOM} observed in the first two soil layers on irrigated soil (Fig. 6b) possibly is a result of higher amount of C allocated to the fine roots (Fig. 1) and its subsequent stabilization in a more stable soil fraction. This is strongly supported by the results of eucalypt C contribution to the SOM (85 %) in the 0-20 cm soil layer when it is compared to the eucalypt derived-C (49 %) in the rain fed treatment. When there was no water and nutrient limitation (fertirrigated plot) we observed that $\delta^{13}\text{C}$ values of C_{MAOM} was less negative than the observed in the irrigated plot (Fig. 6b, Contrast C_2), the eucalyptus C contribution was also smaller (65 %), regardless of a large C input by fine roots (Fig. 1). It seems that the faster turnover of labile C fraction and the priming effect, promoted by the high rates of nutrient input (Table 2), led to a lower stabilization of the eucalypt C. Nevertheless, this type of effect is not completely understood and further investigation is required.

We conclude that when water or water plus nutrients are not a limitation to forest growth the C stocks above and belowground in eucalyptus stands may be improved. The greater availability of nutrients increased forest productivity, enhancing the C sequestration into its biomass and in the forest floor by increasing litter deposition. The irrigation did not affect the forest productivity, but led to a high C flow to fine roots, increasing the soil C storage, resulting in distinct $\delta^{13}\text{C}$ values and proportion of eucalypt derived C in the SOM. Fertirrigated also had a high C allocation to fine roots, however, led to a reduction of soil C stocks in the 0-100 cm soil layer and a smaller proportion of eucalypt derived-C was transferred to SOM. The excessively amounts of N and P supplied may have promoted a faster SOM turnover and preferential decomposition of newly added C, as indicated by the size of C_{MOP} and C_{MAOM} pools and their $\delta^{13}\text{C}$ values. A better understanding of the role of high supply of N and P upon the C pools in eucalypt soils requires further research, especially on the role player by fine roots turnover and rhizodeposition.

REFERENCES

- ABRAF, 2012. Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2011. ABRAF, Brasília.
- Barros, N.F.; Novais, R.F.; Teixeira, J.L. & Fernandes Filho, E.I., 1995. NUTRICALC 2.0 – Sistema para cálculo del balance nutricional y recomendación de fertilizantes para el cultivo de eucalipto. *Bosque*. 16, 129-131.
- Bataglia, O. C.; Teixeira, J. P. F.; Furlani, P. R.; Furlani, A. M. C. & Gallo, J. R., 1978. Análise química de plantas, circular 87. Instituto Agrônomo, Campinas.
- Berg, B. & Matzner, E., 1997. Effect of N deposition on decomposition of plant litter and soil organic matter in forest systems. *Environ. Rev.* 5, 1–25.
- Bernoux, M.; Cerri, C.C.; Neill, C. & Moraes, J.F.L., 1998. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma*, 82, 43-58.
- Binkley, D.; Kaye, J.; Barry, M. & Ryan, M.G., 2004. First-rotation in soil carbon and nitrogen in a Eucalyptus plantation in Hawaii. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 68, 1713-1719.
- Blagodatskaya, E. & Kozyakov, Y., 2008. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: Critical review. *Biol. Fert. Soils*. 45, 115-131.
- Bouillet, J.-P.; Laclau, J.P.; Arnaud, M.; M'bou, A.T.; Saint-Andre, L. & Jourdan, C., 2002. Changes with age in the spatial distribution of roots of Eucalyptus clone in Congo: impact on water and nutrient uptake. *For. Ecol. Manage.* 171, 43–57.
- Bradford, M.A.; Fierer, N.; Reynolds, J.F., 2008. Soil carbon stocks in experimental mesocosms are dependent on the rate of labile carbon, nitrogen and phosphorus inputs to soils. *Functional Ecol.* 22, 964-974.
- Cambardella, C.A. & Elliott, E.T., 1992. Particulate organic matter across a grassland cultivation sequence. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 56, 777-783.
- Cleveland, C.C. & Townsend, A.R., 2006. Nutrient additions to a tropical rain forest drive substantial soil carbon dioxide losses to the atmosphere. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 103, 10316–10321.

- Fontaine, S., Bardoux, G., Abbadie, L. & Mariotti, A., 2004. Carbon input to soil may decrease soil carbon content. *Ecol. Lett.* 7, 314–320.
- Fontaine, S., Bardoux, G., Abbadie, L. & Mariotti, A., 2004. Carbon input to soil may decrease soil carbon content. *Ecol. Lett.* 7, 314–320.
- Fontaine, S.; Barot, S.; Barré, P.; Bdioui, N.; Mary, B. & Rumpel, C. 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature* 450, 277-280.
- Guo, L.B.; Halliday, M.J.; Siakomotu, S.J.M. & Gifford, R.M., 2005. Fine roots production and litter input: Its effect on soil carbon. *Plant Soil.* 272, 1-10.
- Hagedorn, F., Spinnler, D. & Siegwolf, R., 2003. Increased N deposition retards mineralization of old soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.*, 35, 1683–1692.
- Hollinger, D.Y.; Maclaren, J.P.; Beets, P.N. & Turland, J. 1993. Carbon sequestration by New Zealand's plantation forests. *New Zea. J. For. Sci.* 23, 194–208.
- Hunter, I., 2001. Aboveground biomass and nutrient uptake of three tree species (*Eucalyptus camaldulensis*, *Eucalyptus grandis* and *Dalbergia sissoo*) as affected by irrigation and fertilizer, at 3 years of age, in southern India. *For. Ecol. Manage.* 144, 189-199.
- Jobbágy, E.G. & Jackson, R.B., 2000. The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecol. Appl.* 10, 423-436.
- Jones, D.L.; Hodge, A.; Kuzyakov, Y., 2004. Plant and mycorrhizal regulation of rhizodeposition. *New Phytol.* 163, 459–480.
- King, J.S.; Albaugh, T.J.; Allen, H.A.; Buford, M.; Strain, B.R. & Dougherty, P., 2002. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine. *New Phytol.* 154, 389-398.
- Kuzyakov, Y. & Domanski, G., 2000. Carbon input by plants into the soil. Review. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 421-431.

- Lal, R.; Kimble, J. & Follet, R., 1998. Land use and soil C pools in terrestrial ecosystems, in: Lal, R.R.; Kimble, J.M.; Follet, R.F. & Stewart, B.A. (Eds.), Management of Carbon Sequestration in Soil. Advances in Soil Science. CRC Press, New York, pp. 1–10.
- Lal, R., 2005. Forest soil and carbon sequestration. For. Ecol. Manage. 220, 242-258.
- Lima, A.M.N.; Silva, I.R.; Neves, J.C.L.; Novais, R.F.; Barros, N.F.; Mendonça, E.S.; Smyth, T.J.; Moreira, M.S. & Leite, F.P., 2006. Soil organic carbon dynamic following afforestation of degraded pasture with eucalyptus in southeastern Brazil. For. Ecol. Manage. 235, 219-231.
- Litton, C.M.; Raich, J.W. & Ryan, M.G., 2007. Carbon allocation in forest ecosystems. Glob. Change Biol. 13, 2089-2109.
- Lourenço, H.M., 2009. Crescimento e eficiência do uso de água e nutrientes em eucalipto fertirrigado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 157p. (English Abstract).
- Madeira, M.V.; Fabião, A.; Pereira, J.S.; Araújo, M.C. & Ribeiro, C., 2002. Changes in carbon stocks in *Eucalyptus globulus* Labill. Plantations induced by different water and nutrient availability. For. Ecol. Manage. 171, 75-85.
- Maier, C.A.; Albaugh, T.J.; Allen, H.L. & Dougherty, P.M., 2004. Respiratory carbon use and carbon storage in mid-rotation loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantations: the effect of site resources on the stand carbon balance. Glob. Change Biol. 10, 1335-1350.
- Maquere, V.; Laclau, J.P.; Bernoux, M.; Saint-Andre, L.; Gonçalves, J.L.M.; Cerri, C.C.; Piccolo, M.C. & Ranger, J., 2008. Influence of land use (savanna, pasture, *Eucalyptus* plantations) on soil carbon and nitrogen stocks in Brazil. Eur. J. Soil Sci. 59, 863-877.
- Menezes, A.A., 2005. Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (Ph. D. Thesis with an English Abstract).

- Neff, J.C., Townsend, A.R., Gleixner, G., Lehman, S.J., Turnbull, J. & Bowman, W.D., 2002. Variable effects of nitrogen additions on the stability and turnover of soil carbon. *Nature*. 419, 915–917.
- Neves, J.C.L., 2000. 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 do Norte Fluminense. (Ph. D. Thesis with an English Abstract)
- Prescott, C.E., 2010. Litter decomposition: what controls it and how can we alter it to sequester more carbon in forest soils? *Biogeochemi.* In Press: DOI 10.1007/s10533-010-9439-0.
- Rasse, D.P.; Rumpel, C. & Dignac, M.F., 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. *Plant Soil*. 269, 341-356.
- Reed, D. & Tomé, M., 1998. Total aboveground biomass and net dry matter accumulation by plant component in young *Eucalyptus globulus* in response to irrigation. *For. Ecol. Manage.* 103, 21-32.
- Ribeiro, C.; Madeira, M. & Araújo, M.C., 2002. Decomposition and nutrient release from leaf litter of *Eucalyptus globulus* grown under different water and nutrient regimes. *For. Ecol. Manage.* 171, 31-41.
- Ryan, M.G.; Stape, J.L.; Binkley, D.; Fonseca, S.; Loos, R.A.; Takahashi, E.N.; Silva, C.R.; Silva, S.R.; Hakamada, R.E.; Ferreira, J.M.; Lima, A.M.N.; Gava, J.L.; Leite, F.P.; Andrade, H.B.; Alves, J.M.; Silva, G.G.C., 2010. Factors controlling *Eucalyptus* productivity: How water availability and stand structure alter production and carbon allocation. *For. Ecol. Manage.* 259, 1695-1703.
- Schimel, D.S. 1995. Terrestrial ecosystems and the carbon-cycle. *Glob. Change Biol.* 1, 77-91.
- Silva, G. G. C., 2006. Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa. (Ph.D. Thesis with an English Abstract)

- Six, J.; Conant, R.T.; Paul, E.A. & Paustian, K., 2002. Stabilization mechanisms for soil organic matter: Implication for C-saturation of soils. *Plant Soil*. 241, 155-176.
- Stape, J.L.; Binkley, D. & Ryan, M.G., 2008. Production and carbon allocation in a clonal Eucalyptus plantation with water and nutrient manipulation. *For. Ecol. Manage.* 255, 920-930.
- Stape, J.L.; Binkley, D.; Ryan, M.G.; Fonseca, S.; Loos, R.A.; Takahashi, E.N.; Silva, C.R.; Silva, S.R.; Hakamada, R.E.; Ferreira, J.M.A.; Lima, A.M.N.; Gava, J.L.; Leite, F.P.; Andrade, H.B.; Alves, J.M.; Silva, G.G.C.; Azevedo, M.R., 2010. The Brazil Eucalyptus Potential Productivity Project: Influence of water, nutrient and stand uniformity on wood production. *For. Ecol. Manage.* 259, 1684-1694.
- StatSoft, Inc., 2007. STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. www.statsoft.com.
- Thomsen, I.K.; Schjonning, P.; Jensen, B.; Kistensen, K. & Chistensen, B.T., 1999. Turnover of organic matter in differently textured soils II. Microbial activity as influenced by soil water regimes. *Geoderma*. 89, 199-218.
- Vitorello, V.A., Cerri, C., Andreux, F., Feller, C., Victória, R.L., 1989. Organic matter and natural ¹³C distribution in forested and cultivated Oxisols. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 53, 773-778.
- Waldrop, M.P., Zak, D.R., Sinsabaugh, R.L., Gallo, M. & Lauber, C., 2004. Nitrogen deposition modifies soil carbon storage through changes in microbial enzymatic activity. *Ecol. App.* 14, 1172-1177.
- Yeomans, J.C. & Bremner, J.M., 1988. A rapid and precise method for routine determination of carbon in soil. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 19, 1467-1476.
- Zhang, D.; Hui, D.; Luo, Y. & Zhou, G., 2008. Rates of litter decomposition in terrestrial ecosystems: global patterns and controlling factors. *J. Plant Ecol.* 1, 85-93.

CONCLUSÕES GERAIS

- As normas DRIS e IBKW para minicepas de eucalipto diferem sensivelmente entre viveiros, sendo recomendado o uso de normas estabelecidas para os viveiros onde elas serão aplicadas.
- As normas DRIS e IBKW ajustadas para minicepas de eucalipto se mostraram sensíveis à estação do ano.
- O uso de normas específicas, que leva em consideração a estação do ano, se mostrou mais adequada que normas gerais
- O uso de métodos diagnósticos além de permitir avaliar o equilíbrio e balanço nutricional de minicepas de eucalipto também é útil para indicar a necessidade de possíveis ajustes na solução nutritiva dos minijardins clonais.
- Em plantios jovens de eucalipto no Brasil o uso de parcelas que apresentam crescimento próximo ao potencial desde a fase inicial de crescimento até idades em que o incremento corrente anual atinge o máximo é mais adequado para a composição da população de referência e como consequência das normas nutricionais resultando em normas com menor variabilidade e maior sensibilidade dos diagnósticos produzidos da condição nutricional de plantios jovens.
- Os métodos diagnósticos permitiram detectar que Ca é o nutriente com maior grau de limitação quanto ao balanço e equilíbrio nas florestas avaliadas no Extremo Sul da Bahia.
- Quando água e nutrientes não são um fator limitante há incremento nos estoques de carbono na biomassa de plantas.
- O aumento na disponibilidade de água leva a uma maior produção de biomassa de raízes finas e como consequência a um maior teor de C no solo.
- O tratamento de irrigação elevou a proporção de C oriundo do eucalipto na matéria orgânica do solo enquanto no tratamento fertirrigado houve redução desta proporção.