

ANA CATARINA MONTEIRO CARVALHO MORI DA CUNHA

**DIAGNOSE NUTRICIONAL DE MINICEPAS E PREVISÃO DE ENRAIZAMENTO
DE MINIESTACAS DE EUCALIPTO POR REDES NEURAIAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2010**

ANA CATARINA MONTEIRO CARVALHO MORI DA CUNHA

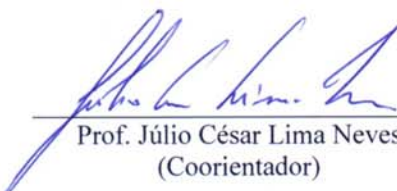
**DIAGNOSE NUTRICIONAL DE MINICEPAS E PREVISÃO DE ENRAIZAMENTO DE
MINIESTACAS DE EUCALIPTO POR REDES NEURAIIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 21 de setembro de 2010.



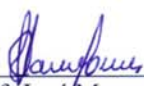
Prof. Helio Garcia Leite
(Coorientador)




Prof. Júlio César Lima Neves
(Coorientador)



Prof. Reynaldo Campos Santana



Prof. José Mauro Gomes



Prof. Haroldo Nogueira de Paiva
(Orientador)

*“Agradeço todas as dificuldades que enfrentei; não fossem elas, eu não teria saído do lugar...
As facilidades nos impedem de caminhar. Mesmo as críticas nos auxiliam muito.”*

Chico Xavier

Aos meus pais Paulo Afonso e Maria Luiza...
Aos meus irmãos João Paulo e Marina Gabriela...
Ao Ricardo, pessoa especial em minha vida...
Aos meus avós Armindo (*in memoriam*) e Maria
(*in memoriam*) que sonhavam em ter um filho
doutor. Sonho realizado por uma filha duas
vezes...
AMO VOCÊS!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus por guiar meus caminhos.

Aos meus pais Maria Luiza e Paulo Afonso. Fontes inesgotáveis de amor, compreensão e incentivo. Obrigada por tudo, por sustentar os meus sonhos e não medir esforços para concretizá-los.

Aos meus irmãos João Paulo e Marina Gabriela pela torcida, pelo carinho e conversas, por não deixarem de fazer parte da minha vida mesmo de longe. Maninha obrigada pela tradução dos resumos...

Ao meu amor Ricardo, meu amigo e companheiro, pela confiança, motivação e presença mesmo que distante.

À minha família e à minha nova família Brainer por todo carinho e momentos inesquecíveis, em especial à minha sogra Cely, pelo carinho, pela preocupação e pelas conversas.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Haroldo Nogueira de Paiva, pela orientação, pelos ensinamentos contínuos e, principalmente, pela amizade e agradável convívio.

Aos meus co-orientadores os professores Helio Garcia Leite, Júlio César Lima Neves e Aloisio Xavier, pelas críticas e pelos valiosos ensinamentos, indispensáveis à realização e ao aperfeiçoamento deste trabalho.

Ao professor José Marinaldo Gleriani pelas sugestões no trabalho e disposição em tirar minhas dúvidas sempre que preciso.

Aos membros da banca examinadora, pelas críticas e sugestões.

À CENIBRA, em especial ao Dr. Fernando Palha Leite, pela concessão do banco de dados usado na minha tese e pelo apoio logístico.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Florestal (DEF), em especial à Ritinha, Chiquinho e Alfredo pelas conversas e amizade.

Aos amigos desde sempre: Ludy, Marcelo, Maria, Daison, Bruna, Veri, Daiane, Sheila, Dionatan, Napoleão, Odete, Candida e Cezar.

Aos amigos do DEF, em especial à Juliana, Bruna, Mila, Marco, Sady e Andressa, pelo companheirismo, amizade e agradável convivência no decorrer do curso.

À Roseli por cuidar da minha casa e das minhas meninas.

À Mayra por me auxiliar no “caminho das redes neurais artificiais” e pela prontidão sempre.

A todos que, por um lapso de memória, não tenham sido lembrados, mas que direta ou indiretamente, contribuíram de alguma maneira para a concretização deste trabalho, o meu muito obrigado.

BIOGRAFIA

ANA CATARINA MONTEIRO CARVALHO MORI DA CUNHA, filha de Maria Luiza Monteiro Carvalho Mori da Cunha e Paulo Afonso Mori da Cunha, nasceu em 6 de março de 1982, na cidade do Rio de Janeiro, Estado do Rio de Janeiro.

Em 2004, diplomou-se Engenheira Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria, em Santa Maria – RS.

Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul - FAPERGS.

Em março de 2005, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal – Área de Concentração em Silvicultura –, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua dissertação de mestrado em outubro de 2006.

Em outubro de 2006, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal – Área de Concentração em Silvicultura –, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo sua tese de doutorado em setembro de 2010.

Em junho de 2010 foi aprovada em concurso público para Professor de Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, ingressando como professor efetivo em setembro do mesmo ano.

ÍNDICE

	Página
RESUMO.....	VII
ABSTRACT.....	IX
INTRODUÇÃO.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	7
NORMAS PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE MINICEPAS DE EUCALIPTO.....	11
RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	11
INTRODUÇÃO.....	13
MATERIAL E MÉTODOS.....	16
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	34
MÉTODOS DE DIAGNOSE NUTRICIONAL DE MINICEPAS DE EUCALIPTO NA DETERMINAÇÃO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA.....	37
RESUMO.....	37
ABSTRACT.....	37
INTRODUÇÃO.....	39
MATERIAL E MÉTODOS.....	41
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
CONCLUSÕES.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE MINICEPAS DE EUCALIPTO.....	58
RESUMO.....	58
ABSTRACT.....	58
INTRODUÇÃO.....	60
MATERIAL E MÉTODOS.....	62
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	66
CONCLUSÕES.....	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
REDES NEURAS ARTIFICIAIS NO DIAGNÓSTICO DO ESTADO NUTRICIONAL DE MINICEPAS E PREVISÃO DE ENRAIZAMENTO DE MINIESTACAS DE EUCALIPTO.....	78
RESUMO.....	78
ABSTRACT.....	79
INTRODUÇÃO.....	80
MATERIAL E MÉTODOS.....	84
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
CONCLUSÕES.....	100
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101
CONCLUSÕES GERAIS.....	104

RESUMO

CUNHA, Ana Catarina Monteiro Carvalho Mori da, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2010. **Diagnose nutricional de minicepas e previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto por redes neurais.** Orientador: Haroldo Nogueira de Paiva. Co-orientadores: Helio Garcia Leite, Júlio César Lima Neves e Aloisio Xavier.

A cultura do eucalipto apresenta grande importância econômica, ambiental e social. Para que se possa aprimorar o seu manejo nutricional, pode-se fazer o uso da diagnose nutricional com base na análise de tecidos. Os dados nutricionais também são úteis em pesquisas que visem melhorar o manejo do viveiro, com conseqüente aumento no aproveitamento e qualidade das mudas, bem como minimizar o uso de insumos. Este trabalho teve como objetivos: realizar o diagnóstico do estado nutricional de minicepas de eucalipto pelos métodos: Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) e Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS); e treinar e avaliar a eficiência de redes neurais artificiais para realizar o diagnóstico do estado nutricional de minicepas e a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto, a partir de informações oriundas de monitoramento nutricional de viveiro clonal de eucalipto e de variáveis climáticas. Concluiu-se que: a) foram obtidas normas para métodos que avaliam o balanço (Kenworthy) e o equilíbrio (DRIS); b) com base nos resultados normas gerais podem ser usadas para obter valores de referência na diagnose do estado nutricional de minicepas de eucalipto e estimar faixas de suficiência dos teores foliares; c) o grau de universalidade das normas varia com os métodos Kenworthy, DRIS e Potencial de Resposta à Adubação e com o procedimento adotado na sua avaliação; d) a freqüência de diagnósticos concordantes foi menor para clones de *Eucalyptus urophylla*, em comparação com clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; e) do ponto de vista do balanço e equilíbrio, os nutrientes mais limitantes por falta nas minicepas de eucalipto foram Ca, Mg, Zn, Cu e B e mais limitantes por excesso foram S, Fe e Mn; f) os resultados permitiram concluir que redes neurais artificiais do tipo *Perceptrons* de Múltiplas Camadas (MLP) são capazes de desempenhar a tarefa de classificação de padrões (diagnóstico do

estado nutricional de minicepas) e servem para se obter aproximação de funções visando a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto.

ABSTRACT

CUNHA, Ana Catarina Monteiro Carvalho Mori da, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2010. **Nutritional diagnosis of ministumps and prediction of rooting of minicuttings of eucalypt through neural networks.** Adviser: Haroldo Nogueira de Paiva. Co- Advisers: Helio Garcia Leite, Júlio César Lima Neves and Aloisio Xavier.

Eucalypt cultivation has a great economic, environmental and social importance. In order to improve its nutritional management, nutritional diagnosis can be used based on tissue analysis. Nutritional data are also useful in research which aimed at improving the management of the nursery, leading to improve productivity and quality of seedlings, as well as minimize the use of inputs. This study aimed to perform a nutritional diagnosis status of ministumps eucalypt by Kenworthy Balanced Index (IKW) and Integrated System of Diagnosis and Recommendation (DRIS) methods and to optimize and to evaluate the efficiency of artificial neural networks in order to perform nutritional diagnosis status of ministumps and to predict the rooting of minicuttings of eucalypt, based on information from nutritional monitoring status of eucalypt clonal nursery and climatic variables. It was concluded that: a) standards were obtained for methods that assess the balance sheet (Kenworthy) and balance (DRIS), b) based on the results general rules can be used to obtain reference values at diagnosis of nutritional status of eucalypt ministumps and estimate ranges of sufficiency of leaf contents, c) the universality degree of the standards varies with the methods Kenworthy, DRIS and Potential of Response to Fertilization and with the procedure used in its evaluation, d) the frequency of concordant diagnosis was lower for *Eucalyptus urophylla* clones, compared with *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* clones, e) in terms of balance and equilibrium, the most limiting nutrients for the lack for eucalypt ministumps were Ca, Mg, Zn, Cu and B and more restrictive for excess were S, Fe and Mn, f) the results showed that artificial neural networks *Perceptrons* multilayer (MLP) are able of performing the task of pattern classification (diagnosis of nutritional status ministumps) and serve to obtain approximation of functions in order to predict rooting of cuttings of eucalypt.

INTRODUÇÃO

A avaliação do estado nutricional de plantas pode ser realizada por meio da diagnose foliar, em razão da correspondência que normalmente existe entre a concentração de nutrientes nas folhas e o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade das culturas.

A avaliação do estado nutricional de plantas tem sido baseada nos níveis críticos. Esses, normalmente, são estabelecidos a partir de experimentos, em que se variam as doses de um nutriente e os demais fatores de produção, nutricionais ou não, são mantidos em níveis não-limitantes.

Visando maior confiabilidade na definição dos valores de referência é necessário estratificar os ambientes e a condição em que os experimentos são conduzidos. Essa estratificação deve ser o mais abrangente possível. No entanto, na maioria dos trabalhos esta premissa não tem sido observada, tornando os valores de referência válidos apenas para uma pequena amplitude de condições em que os fatores de produção foram considerados, nos trabalhos de calibração.

Como alternativa aos experimentos clássicos de calibração, tem-se utilizado, métodos de diagnose, tais como: Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) (Kenworthy, 1961) e 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, conforme verificado por Wadt (2004). Para a utilização desses métodos é necessário a obtenção de normas ou valores padrão, a partir dos quais são calculados índices usados na avaliação do estado nutricional. O diagnóstico produzido, por meio destas normas, é importante para orientar a necessidade de ajustes nas soluções nutritivas aplicadas às minicepas, nos viveiros clonais de eucalipto.

O método proposto por Kenworthy (1961), que avalia o balanço nutricional, permite avaliar o estado nutricional por meio da porcentagem de desvio da concentração de 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

(Cantarutti et al., 2007). Este método permite determinar uma faixa de suficiência (correspondente ao intervalo de 83 a 117%, de acordo com o valor obtido para o índice balanceado) e teor ótimo (mediana da faixa de suficiência, ou seja, índice balanceado igual a 100%) sem a necessidade de instalação e condução de uma vasta rede de experimentos de adubação.

O método DRIS foi desenvolvido por Beaufils (1973), no intuito de se utilizar as normas estabelecidas a partir de amostragens realizadas sob diferentes condições de solo e clima. Dessa forma, pretendia-se abranger toda a variabilidade de fatores que agem sobre a população de referência, permitindo a aplicação das normas em quaisquer condições de cultivo. A idéia de universalidade das normas parte da premissa de que há independência no uso do DRIS, em relação a fatores que possam influenciar o estado nutricional da planta, tendo-se em vista o fato das relações duais entre nutrientes apresentarem maior constância em relação aos teores individuais (Silva et al., 2005).

No entanto, dados disponíveis em literatura, relacionados ao tema DRIS, evidenciam que as normas podem variar muito nas mais diversas condições edafoclimáticas, levando a crer que a recomendação de Black (1993) seja considerada correta, ou seja, normas gerais devem ser utilizadas apenas na ausência de normas específicas. Nesse sentido, diversos trabalhos têm demonstrado maior exatidão da diagnose nutricional quando são usadas normas específicas, em relação ao uso de normas gerais, definidas a partir de um banco de dados em que se abrangem diferentes condições de clima, época de amostragem, parte da planta amostrada, sistema de manejo empregado, material genético, entre outros (Reis Júnior et al., 2002; Silva et al., 2005; Silva e Carvalho, 2006; Rocha, 2008; Santana et al., 2008).

Deste modo, uma opção, semelhante ao proposto para outras espécies, seria obter normas de um número menor de amostras, reconhecidamente superiores, inclusive a partir de experimentos em que fatores influentes na performance das culturas e na aquisição de nutrientes pelas mesmas fossem controlados. Além disso, as normas DRIS podem ser atualizadas a partir da inserção de novos dados, resultando em avanço na diagnose nutricional (Silva et al., 2009a).

Para estabelecer o teor ótimo a partir do método DRIS, efetua-se o relacionamento do teor foliar com o respectivo índice do nutriente (Wadt et al., 1998a) ou vice-versa (Silva, 2001; Reis Jr. et al., 2002), tomando-se como base o fato de que o teor ótimo corresponde ao valor índice que representa o equilíbrio nutricional, ou seja, zero. E a faixa ótima é obtida pela definição de uma amplitude de desvios-padrão em torno deste valor ideal (Faixa de Beaufils).

A utilização, em conjunto, dos métodos IKW e DRIS permite avaliar o estado nutricional, harmonizando balanço e equilíbrio. Ainda, a compreensão dos princípios considerados por diferentes métodos de diagnose, bem como a comparação de seus resultados, é importante para utilização criteriosa dessas ferramentas de análise (Silva et al., 2005).

Os métodos IKW e DRIS têm sido utilizados para avaliar o estado nutricional de árvores de eucalipto (Wadt et al., 1998a; Wadt et al., 1998b; Wadt et al., 1999; Wadt, 2004; Silva et al., 2004, Silva et al., 2005; Rocha, 2008; Fernandes, 2010). Na fase de viveiro, não existem trabalhos que utilizem os princípios e métodos preconizados por Kenworthy (1961) e Beaufils (1973). Para minicepas de clones de eucalipto, não foram encontrados trabalhos utilizando métodos de diagnose foliar.

O enraizamento e a produção de miniestacas de eucalipto variam com o material genético (Cunha et al., 2008, 2009a e 2009b). Tendo em vista essa variação, pode-se formular a hipótese de que o diagnóstico produzido mediante normas específicas (por clone) e normas gerais (conjunto de clones) sejam diferentes para os métodos IKW e DRIS.

Além das inúmeras vantagens advindas do uso desses métodos de diagnose em relação ao método do nível crítico, também existem certas desvantagens, podendo-se destacar: maior dificuldade nos cálculos dos índices; dependência entre os índices (no caso do DRIS), o que pode levar índice muito elevado a influenciar negativamente os demais, podendo diagnosticar como deficiente um nutriente que se encontra em concentrações adequadas; dificuldade de detectar situações de deficiência quando os teores dos nutrientes apresentam altos valores de coeficiente de variação (no caso do IKW) (Cantarutti et al., 2007; Rocha, 2008). Uma alternativa ao diagnóstico do estado nutricional, mantendo as vantagens inerentes ao emprego dos métodos DRIS e IKW, é a utilização de redes neurais artificiais.

Em um viveiro clonal de produção de mudas, existem diversos fatores que influenciam a propagação de plantas por miniestaquia, tanto no crescimento quanto na diferenciação das raízes, podendo-se destacar: estado nutricional (Bellamine et al., 1998; Josten & Kutschera, 1999; Schwambach et al., 2005; Francis e Halford, 2006) e condições climáticas (Fett-Neto et al., 2001; Corrêa e Fett-Neto, 2004; Corrêa et al., 2005). Assim, qualquer pesquisa específica nessas áreas contribui para melhorar o manejo do viveiro, com conseqüente aumento no aproveitamento e qualidade das mudas, bem como melhor aproveitamento de insumos.

A metodologia tradicional baseia-se em modelos de regressão. As equações são estimadas após a instalação de experimentos, nos quais, para o caso da avaliação do potencial de enraizamento em função da nutrição, são testadas doses de determinado nutriente e

avaliada a taxa de enraizamento em função dessas doses, por exemplo. Uma alternativa a instalação desses experimentos, diferentes daquelas usuais, consiste no uso de redes neurais artificiais.

A aplicação de redes neurais artificiais no campo da ciência florestal é promissora, tendo diversos trabalhos têm sido desenvolvidos na área de manejo florestal e processamento de imagens com resultados superiores aos obtidos usando metodologias tradicionais (Schoeninger et al., 2008; Görgens et al., 2009; Silva et al., 2009b; Chagas et al., 2009; França et al., 2009; Binoti, 2010). No entanto, apesar desses resultados animadores, na área de silvicultura não foram encontrados trabalhos com este enfoque.

Redes neurais artificiais (RNA) são redes de neurônios artificiais, ou seja, uma RNA é um sistema computacional paralelo constituído de várias unidades de processamento simples, conectadas entre si, de uma maneira específica para executar determinada tarefa (Bullinaria, 2009). É um sistema paralelo, pois, seus elementos básicos, os neurônios artificiais ou nodos, encontram-se dispostos em uma ou mais camadas (paralelismo) e interligados entre si por um grande número de conexões, formando a rede (sistema). Estas conexões geralmente são associadas a pesos que armazenam o conhecimento representado pela rede e ponderam a entrada recebida em cada neurônio da rede (Braga et al., 2000).

A forma como um determinado problema é representado internamente na RNA e o paralelismo de sua arquitetura torna a solução de problemas com RNA melhor do que as soluções convencionais (Braga et al., 2000; Haykin, 2001). Outras características importantes da RNA são: mapeamentos de entrada e de saída; tolerância a falhas e a ruídos; adaptabilidade dos pesos e conexões às modificações do ambiente (uma rede treinada pode ser retreinada ou uma rede pode ser projetada para modificar seus pesos em tempo real - ambiente não estacionário); capacidade de informar a confiança de uma decisão tomada (probabilidade); aprendizagem a partir de exemplos e generalização para dados desconhecidos; e analogia neurobiológica (Haykin, 2001; Bullinaria, 2009).

Em uma RNA, a solução do problema inicia-se com a aprendizagem (ou treinamento), onde um conjunto de exemplos, geralmente denominado conjunto de treinamento, é apresentado para a rede que extrai as características necessárias para representar a informação contida nos dados e gerar a resposta para o problema. Após a fase de aprendizagem a rede está pronta para aplicações posteriores, caso tenha a capacidade de generalizar, ou seja, gerar respostas coerentes para dados não-conhecidos (Braga et al., 2000; Haykin, 2001).

Por meio do aprendizado, a rede neural é capaz de captar as evidências e atribuir respostas aos problemas abordados. Além disso, cada neurônio é potencialmente afetado pela

atividade de todos os neurônios da rede, anteriores, ou não, a ele. Os neurônios formam, portanto, uma rede, na qual as ligações paralelas permitem que certas operações sejam realizadas com maior rapidez. Esta propriedade é fundamental na abordagem de problemas complexos. Permite-se o uso tanto de variáveis discretas, quanto de variáveis contínuas, abrindo ainda mais o seu campo de utilização (Braga et al., 2000; Haykin, 2001).

Dentre as dificuldades encontradas no treinamento das redes neurais destaca-se: definição da melhor arquitetura; possibilidade de ocorrência de problemas como subtreinamento e sobre-treinamento; interpretação de como a rede obteve os resultados (caixa-preta); e ponto de parada de treinamento (parada em um ponto de mínimo local ao invés de parar no ponto de mínimo global da superfície de erro). No entanto, apesar dessas dificuldades os resultados obtidos com o uso das redes neurais artificiais não são comprometidos (Braga et al., 2000; Olden e Jackson, 2002).

Os problemas tratáveis por meio de redes neurais podem ser divididos em três tipos principais de tarefas de aprendizagem: aproximação de função, classificação de padrões e agrupamento de dados (Haykin, 2001). O diagnóstico do estado nutricional enquadra-se na tarefa de classificação de padrões. Nessa aplicação, a rede aprende a classificar um padrão desconhecido entre várias classes ou categorias. Assim, ao deparar com um padrão desconhecido a rede deve classificá-lo em uma das classes existentes. Para que o desempenho do classificador para novos padrões possa ser avaliado, o classificador passa por uma fase de teste, onde é observado o número de acertos realizados para um conjunto de padrões cujas classes sejam desconhecidas (Braga et al., 2000; Haykin, 2001).

Já a previsão de enraizamento, enquadra-se na tarefa de aproximação de função que consiste em treinar uma rede neural que aproxime a função desconhecida $f(x)$, que descreve o mapeamento dos pares de entrada-saída $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ de um conjunto de n padrões de treinamento (exemplos) (Jain et al., 1996).

Estas tarefas de aprendizagem enquadram-se no paradigma do aprendizado supervisionado, e como arquitetura de rede neural que desempenha estas tarefas destaca-se o *perceptron* de múltiplas camadas (também denominado *Multilayer Perceptron* ou MLP), com conexão *feedforward* (alimentadas adiante), sem realimentação. As redes MLP foram concebidas para resolver problemas mais complexos, os quais não poderiam ser resolvidos pelo modelo de neurônio básico. No treinamento das redes MLP usa-se um algoritmo bastante conhecido, o algoritmo de retropropagação do erro (*error back-propagation*), que é baseado na regra de aprendizagem por correção do erro. Nesta regra, os sinais de entrada são apresentados à rede que gera uma saída, que é comparada com a saída desejada, um erro é

gerado e este erro aciona um mecanismo de controle que aplica uma seqüência de ajustes corretivos aos pesos sinápticos, afim de aproximar a saída do resultado desejado, ou seja, a fim de minimizar o erro (Haykin, 2001; Valença, 2005).

Diante do exposto, este estudo teve como objetivo geral realizar o diagnóstico do estado nutricional de minicepas de eucalipto pelos métodos: Índices Balanceados de Kenworthy e Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação; e treinar e avaliar a eficiência de redes neurais artificiais para realizar o diagnóstico do estado nutricional de minicepas e a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto, a partir de informações oriundas de monitoramento nutricional de viveiro clonal de eucalipto e variáveis climáticas.

A abordagem proposta combinou o conhecimento de dois métodos de diagnose do estado nutricional de plantas (IKW e DRIS) com redes neurais artificiais visando, gerar um diagnóstico prático e preciso do estado nutricional de minicepas e estimar o enraizamento de miniestacas de eucalipto em função de dados nutricionais e climáticos.

Para alcançar os objetivos propostos esta tese foi dividida em quatro capítulos. No primeiro foram estabelecidas as normas DRIS e IKW para minicepas de eucalipto e avaliada a universalidade das mesmas, comparando os diagnósticos nutricionais realizado mediante normas específicas (por clone) e normas gerais (conjunto dos clones).

Os capítulos 2 e 3 tiveram como objetivos: determinar os valores de referência (teores ótimos e faixas de suficiência) de nutrientes e realizar o diagnóstico do estado nutricional em minicepas de eucalipto através dos métodos IKW e DRIS.

No capítulo 4 foi avaliada a eficiência das redes neurais artificiais no diagnóstico do estado nutricional de minicepas e na previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS):** a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plat nutrition. Pietermaritzburg, South Africa: University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).
- BELLAMINE, J.; PENEL, C.; GREPPIN, H.; GASPAR, T. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation. **Plant Growth Regulation**, v.26, p.191-194, 1998.
- BINOTI, M. L. M. da S. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto.** 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.
- BLACK, C. A. **Soil fertility evaluation and control.** Iowa state University: Lewis Publiser, 1993. 746p.
- BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. P. de L. F. de; LUDEMIR, T. B. **Redes neurais artificiais:** Teoria e aplicações. Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC, 2000. 262 p.
- BULLINARIA, J. A. **Introduction to neural computation.** Notas de aula. Disponível em: <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html>. 2009. Acesso em: 5 de out. 2009.
- CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo.** Viçosa, MG: SBCS, 2007. p.769-850
- CHAGAS, C. S.; VIEIRA, C. A. O.; FERNANDES FILHO, E. I.; JÚNIOR, V. de C. Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n.3, p.319-327, 2009.
- CORRÊA, L. R.; FETT-NETO, A. G. Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. **Journal of Thermal Biology**, v.29, p.315-324, 2004.
- CORRÊA, L. R.; PAIM, D. C.; SCHAWAMBACH, J.; FETT-NETO, A. G. Carbohydrates as regulatory factors on the rooting of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. **Plant Growth Regulation**, v.45, p.63-73, 2005

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional da minicepas com o número de miniestacas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.36, n.79, p.203-213, 2008.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.591-599, 2009a.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F. de; LEITE, F. P. Influência do estado nutricional de minicepas no enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.607-615, 2009b.

FERNANDES, L. V. **Normas e determinação de faixas de suficiência para diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto**. 2010. 81f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

FETT-NETO, A. G.; FETT, J. P.; GOULART, L. W. V.; PASQUALI, G.; TERMIGNONI, R. R.; FERREIRA, A. G. Distinct effects of auxin and light on adventitious root development in *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v.21, p.457-464, 2001.

FRANCIS, D.; HALFORD, N. G. Nutrient sensing in plant meristems. **Plant Molecular Biology**, v.60, p.981-993, 2006.

FRANÇA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; XAVIER, B. T. L. Análise do uso da terra no município de Viçosa-MG mediado por classificações supervisionadas com redes neurais artificiais e MAXVER. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, v.2, n.3, p.92-101, 2009.

GÖRGENS, E. B.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. do N.; GLERIANI, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009.

HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.

JAIN, A. K.; MAO, J.; MOHIUDDIN, K. M. Artificial neural networks: A tutorial. **Computer**, v.23, n.3, p.31-44, 1996.

JOSTEN, P.; KUTSCHERA, U. The micronutrient boron causes the development of adventitious roots in sunflower cuttings. **Annals of Botany**, v.84, p.337-342, 1999.

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, 1961, p.28-43.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

OLDEN, J. D.; JACKSON, D. A. Illuminating the “black box”: a randomization approach for understanding variable contributions in artificial neural networks. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 135-150, 2002.

REIS JÚNIOR, R. dos; CORRÊA, J. B.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnóstico nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: normas DRIS e teores foliares adequados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n.3, p.801-808, 2002.

ROCHA, J. B. de O. **Diagnóstico nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2008. 52f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTANA, J. das G.; LEANDRO, W. M.; NAVES, R. V.; CUNHA, P. P. da Normas DRIS para interpretação de análises de folha e solo, em laranjeira pêra, na região central de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.2, p.109-117, 2008.

SCHWAMBACH, J.; FADANELLI, C.; FETT-NETO, A. G. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v.25, p. 487-494, 2005.

SCHOENINGER, E. R.; KOEHLER, H. S.; BOTELHO, M. F.; WATZLAWICK, L. F.; OLIVEIRA, P. C. de Uso de redes neurais artificiais para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa. **Ambiência**, v.4, n.2, p.179-195, 2008.

SILVA, G. G. C. **Diagnóstico nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND**. 2001. 132f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V. H. & LEITE, F. P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. **Sientia Agricola**, v.61, n.5, p.507-515, 2004.

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**, v.29, p.755-761, 2005.

SILVA, J. T. A. da; CARVALHO, J. G. de Estabelecimento de normas DRIS para bananeira prata anã (AAB) sob irrigação. **Ciência Agrotecnologia**, v.30, n.1, p.43-51, 2006.

SILVA, M. A. C. da MATALE, W.; MALHEIROS E. B.; PAVINATO, A. Estabelecimento e validação de normas DRIS para a cultura do algodão no centro-oeste do Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n.1, p.93-99, 2009a.

SILVA, M. L. M. da; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1133-1139, 2009b.

VALENÇA, M. **Aplicando redes neurais: um guia completo**. Olinda, PE: Ed. Do Autor, 2005. 284p.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtido pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p. 685-692, 1998a.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvore de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 661-666, 1998b.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; DIAS, L. E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.10, p.1797-1803, 1999.

WADT, P. G. S. Nutritional status of *Eucalyptus grandis* clones evaluated by critical level and DRIS methods. **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.15-20, 2004.

NORMAS PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DE MINICEPAS DE EUCALIPTO

RESUMO – Para aperfeiçoar o manejo nutricional das minicepas de eucalipto, pode-se fazer o uso de diagnose nutricional com base em análise de tecidos. Assim, há necessidade de se dispor de valores de referência (teores e relações entre nutrientes) e de métodos adequados de interpretação dos resultados. Diante disto, este trabalho objetivou estabelecer normas para minicepas de eucalipto e avaliar a universalidade das mesmas. Foram utilizadas informações do monitoramento nutricional do viveiro de eucalipto, das quais foram geradas as normas. As normas específicas e gerais foram comparadas entre si mediante teste F e teste t. A diagnose foi realizada utilizando os métodos Índices Balanceados de Kenworthy e Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação, sendo validada pelo teste qui-quadrado. As diagnoses obtidas pela utilização de normas específicas foram comparadas com base na frequência de diagnósticos concordantes, considerando os seguintes critérios: os nutrientes separadamente ou apenas o nutriente limitante por falta. Foram geradas normas que usam equilíbrio e balanço para minicepas de eucalipto. O grau de universalidade das normas varia entre os métodos analisados e o procedimento adotado na sua avaliação. O diagnóstico do estado nutricional de minicepas de eucalipto usando normas gerais proporciona resultado satisfatório, portanto, recomenda-se utilizar normas gerais, independente do material genético. Palavras-chave: diagnose foliar, normas específicas, normas gerais, *Eucalyptus*.

NORMS FOR EVALUATION OF NUTRITIONAL STATUS OF MINISTUMPS OF EUCALYPT

ABSTRACT – In order to improve the nutritional management of ministumps eucalypt, it can be used the nutritional diagnosis based on tissue analysis. Thus, it is necessary to have reference values (contents and relation between nutrients) and appropriate methods for interpreting of results. Thus, this study aimed to establish norms for ministumps eucalypt. and assess its universality. It were used the nutritional monitoring data from the nursery of

eucalypt, which were generated the norms. General and specific norms were compared by F test and t test. The diagnosis was evaluated using the methods Kenworthy Balanced Index and Integrated System Diagnosis and Recommendation, which was validated by the chi-square. The diagnoses obtained by use of specific norms were compared based on the frequency of concordant diagnosis, considering the following criteria: nutrients separately or only the lack of limiting nutrient. Norms were generated using checks and balances to ministumps eucalypt. The degree of universality of the standards varies among the analyzed methods and procedures used in its evaluation. The diagnosis of nutritional status of Eucalyptus ministumps using general norms provides satisfactory results, therefore recommend using general norms, independent of genetic material.

Keywords: leaf analysis, specific norms, norms, *Eucalyptus*.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da nutrição das plantas é importante para que se possa avaliar o potencial de rendimento e buscar o balanço e o equilíbrio nutricional. A avaliação do estado nutricional de plantas por meio de métodos de diagnose foliar como os Índices Balanceados de Kenworthy (Kenworthy, 1961) e Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (Beaufils, 1973), os quais analisam o balanço e o equilíbrio nutricional, respectivamente, vem se destacando dos tradicionalmente utilizados, como o nível crítico e a faixa de suficiência.

Estes métodos podem ser utilizados como ferramentas complementares no auxílio do manejo nutricional, aprimorando a definição e interpretação do status nutricional, conforme verificado por Wadt (2004). Para a utilização destes métodos é necessário a obtenção de normas ou valores padrão, a partir dos quais são calculados índices usados na avaliação do estado nutricional. Neste sentido, o diagnóstico produzido, por meio dessas normas, é importante para orientar a necessidade de ajustes nas soluções nutritivas aplicadas às minicepas nos viveiros clonais de eucalipto.

O método proposto por Kenworthy (1961), que avalia o balanço, permite avaliar o estado nutricional por meio da porcentagem de desvio da concentração de dado nutriente em relação à norma. A vantagem dos índices balanceados de Kenworthy é que, na obtenção desses índices, são considerados os coeficientes de variação estimados para cada um dos nutrientes na população onde se obteve a norma. Quando a concentração de dado nutriente na amostra for menor que a concentração desse nutriente nas normas, a influência da variabilidade é adicionada. Quando essa concentração estiver acima da concentração da norma, a influência da variabilidade é subtraída, obtendo-se assim, índices balanceados (Cantarutti et al., 2007).

Segundo Kurihara (2004) uma simples relação de equilíbrio entre nutrientes pode não ter relação direta com a produtividade das culturas, tendo em vista que fatores limitantes, de natureza não nutricional, podem afetar o crescimento das plantas. Deste modo, tem-se que uma população de alta produtividade necessariamente apresenta uma nutrição equilibrada; o inverso, no entanto, pode não ocorrer. Para o autor, o mérito do DRIS é permitir a discriminação dos casos em que apenas os fatores nutricionais influenciam o desenvolvimento

das plantas, uma vez que as normas são calculadas a partir de uma subpopulação de referência, em geral de alta produtividade, representando, assim, condições adequadas ou desejáveis da cultura.

O método DRIS foi desenvolvido por Beaufils (1973) no intuito de se utilizar as normas estabelecidas a partir de amostragens realizadas sob diferentes condições de solo e clima. Desta forma, pretendia-se abranger toda a variabilidade de fatores que agem sobre a população de referência, permitindo a aplicação das normas em quaisquer condições de cultivo. A idéia de universalidade das normas parte da premissa de que há independência no uso do DRIS em relação a fatores que possam influenciar o estado nutricional da planta, tendo-se em vista o fato de que as relações duais entre nutrientes apresentam maior constância em relação aos teores individuais (Silva et al., 2005).

No entanto, dados disponíveis em literatura relacionados ao tema DRIS, evidenciam que as normas podem variar muito nas mais diversas condições edafoclimáticas, levando a crer que a recomendação de Black (1993) seja considerada correta, ou seja, normas gerais devem ser utilizadas apenas na ausência de normas específicas. Neste sentido, diversos trabalhos têm demonstrado maior exatidão da diagnose nutricional quando são usadas normas específicas, em relação ao uso de normas gerais, definidas a partir de um banco de dados em que se abrangem diferentes condições de clima, época de amostragem, parte da planta amostrada, sistema de manejo empregado, material genético, entre outros (Reis Júnior et al., 2002; Silva et al., 2005; Silva e Carvalho, 2006; Rocha, 2008; Santana et al., 2008).

Deste modo, uma opção, semelhante ao proposto para outras espécies, seria obter normas de um número menor de amostras, reconhecidamente superiores, inclusive a partir de experimentos em que fatores influentes na performance das culturas e na aquisição de nutrientes pelas mesmas fossem controlados. Além disso, as normas DRIS podem ser atualizadas a partir da inserção de novos dados, resultando em avanço na diagnose nutricional (Silva et al., 2009).

A consistência da interpretação das análises de tecido aumenta à medida que o enfoque abordado pelo nível crítico é ampliado e são levados em consideração os coeficientes de variação observados para cada um dos nutrientes na população onde se obteve a norma (Índices Balanceados de Kenworthy) e/ou são consideradas as relações duais entre nutrientes (DRIS). Assim, a comparação de métodos de diagnose nutricional, com diferentes procedimentos de cálculo e interpretação de seus índices, permite avaliar a influência de cada método quanto ao aspecto de universalidade das respectivas normas (Silva et al., 2005).

Na literatura evidencia-se a inexistência de trabalhos que forneçam valores de normas para os métodos IKW e DRIS em minicepas de eucalipto em condição de viveiro. A obtenção desses valores é importante para a realização do adequado manejo dos minijardins clonais, pois possibilita diagnosticar eventuais excessos ou deficiências e conseqüentemente, reformular as soluções nutritivas aplicadas às minicepas. Além disso, o potencial de enraizamento das miniestacas provenientes das minicepas de eucalipto é variável entre diferentes materiais genéticos e têm estreita relação com o estado nutricional da planta matriz (minicepa) de onde é coletada (Cunha et al., 2008, 2009a e 2009b). Tendo em vista estas variações pode-se questionar que as normas para o DRIS e IKW usadas na diagnose do estado nutricional devem ser diferentes entre os clones.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi estabelecer normas para minicepas de eucalipto e avaliar a universalidade das mesmas, através dos testes F e t, e pela freqüência de diagnósticos concordantes mediante o uso de normas específicas (por clone) e normas gerais (conjunto de clones) para os métodos IKW e DRIS. Pra isso, foram utilizadas informações oriundas de monitoramento nutricional de um viveiro de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas informações do banco de dados do viveiro da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S. A.), localizado no Município de Belo Oriente – MG, no período de 2003 a 2009.

O município de Belo Oriente - MG, localiza-se na região do Vale do Rio Doce, com clima do tipo Aw (temperado chuvoso-mesotérmico), segundo a classificação de Köppen, latitude de 19°18'23" S e longitude 42°22'46" W e altitude média de 363 m. Apresenta precipitação média anual de 1.233 mm. Os dados meteorológicos foram obtidos por meio de estações localizadas no viveiro da empresa no período de janeiro de 2003 a maio de 2009 (Tabela 1).

Tabela 1: Temperatura (T) máxima, média e mínima, radiação solar (R) e umidade relativa do ar (UR) no período de janeiro de 2003 a maio de 2009, no município de Belo Oriente – MG.

Mês	T máx. (°C)	T méd. (°C)	T mín. (°C)	R (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	UR (%)
Janeiro	31,4	25,1	21,1	19,5	80,4
Fevereiro	32,2	25,3	20,9	21,6	77,5
Março	31,6	25,1	21,0	19,3	80,0
Abril	30,3	23,9	20,0	16,5	82,2
Maio	28,3	21,3	16,7	14,0	81,8
Junho	27,4	19,8	14,8	13,1	81,4
Julho	27,3	19,3	13,6	14,0	77,1
Agosto	28,8	21,0	15,3	15,9	71,7
Setembro	29,5	22,3	16,8	16,7	69,8
Outubro	31,7	24,8	19,4	18,9	65,6
Novembro	30,5	24,5	20,5	16,9	75,7
Dezembro	30,9	24,7	20,7	19,6	79,5

A partir de um banco de dados, contendo 145 amostras de clones de *Eucalyptus* foram obtidas as normas DRIS e IKW para minicepas. As condições de manejo e o material amostrado foram semelhantes para todas as amostras, diferindo somente o material genético. Esta similaridade de condições permite verificar se realmente existem diferenças entre normas específicas e gerais, pelo menos em relação ao material genético.

Para a obtenção destas normas utilizaram-se os dados de performance (% de enraizamento e número de miniestacas produzidas pelas minicepas) (Tabela 2) e teores

foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B das minicepas de *Eucalyptus* cultivadas em minijardim clonal em leito de areia, com teto translúcido retrátil, com fertirrigação por gotejamento, conforme descrito em Cunha et al. (2009b). Na amostragem dos tecidos foliares obedeceu-se às seguintes orientações: foram coletadas folhas (sem pecíolo) totalmente expandidas no terço médio da minicepa em fase de produção; evitou-se coletar folhas de minicepas recém colhidas; as folhas foram lavadas com água destilada antes de serem processadas para análise. Foram coletadas duas amostras compostas para cada clone, em cada oportunidade, sendo que em cada amostra foram utilizadas dez minicepas. A frequência da coleta de amostras foi mensal nos anos de 2003 e 2004, e bimensal a partir de 2005.

Tabela 2: Porcentagem média de enraizamento e número médio de miniestacas produzidas pelas minicepas de clones de eucalipto utilizados na população de referência para geração das normas para os métodos IKW e DRIS, de acordo com o clone.

Clone	População de referência	
	Enraizamento (%)	Número de miniestacas
C1	89,5	7,6
C2	91,4	6,9
C3	86,6	9,9
C4	89,2	9,2

Após lavagem, as amostras foram colocadas em estufa para secagem a $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até peso constante, sendo em seguida moídas. Foram feitas análises, determinando-se Ca, Mg, K, P, S, Zn, Cu, Fe e Mn em extrato nitro-perclórico; N em extrato sulfúrico; e B em extrato de ácido clorídrico, após a calcinação, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Os dados de todas as amostras deram origem às populações de interesse de estudo: a) estratificadas por clone: C1 (n = 36 amostras), C2 (n = 39 amostras), C3 (n = 36 amostras) e C4 (n = 34 amostras), sendo os clones C1 e C2 clones de *Eucalyptus urophylla* e os outros, clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; b) não estratificadas – abrangendo, assim o conjunto dos clones (CJ), num total de 145 amostras. Este procedimento foi feito para avaliar a universalidade das normas.

Para cada clone foram estimadas: média, desvio-padrão e coeficiente de variação da % de enraizamento e do número de miniestacas produzidas pelas minicepas. A seguir fez-se a subdivisão da população em amostras de baixa e alta produtividade, sendo esta última a população de referência, definida como sendo maior que a média. Quando as 145 amostras foram consideradas em conjunto, a população de referência foi constituída pelas amostras classificadas como de alta produtividade para os clones considerados. A partir da população

de referência foram calculadas normas específicas (por clone) e normas gerais (conjunto dos clones).

As normas, todas referentes à população de referência, consistiram em: média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos teores dos nutrientes e de todas as relações duais (direta e inversa) entre os nutrientes considerados. Assim, foram obtidas 110 relações, metade relações diretas e metade inversas.

Para o cálculo dos índices balanceados de Kenworthy (Kenworthy, 1961), utilizou-se o coeficiente de variação (CV) do teor médio do nutriente da população de referência. Quando o teor do nutriente da amostra (y_i) é menor que o da norma (\bar{Y}), o CV é adicionado, e quando o teor da amostra é maior, o CV é subtraído. A partir da população 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).

$$P = 100 y_i / \bar{Y}, \quad I = CV(y_i - \bar{Y}) / \bar{Y} \quad \text{e} \quad B = P - I$$

Onde: 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 do nutriente na população de referência; e B - índice balanceado de Kenworthy.

De acordo com o valor obtido para o Índice Balanceado de Kenworthy, os resultados foram interpretados da seguinte forma, classe 1: deficiente (< 50%); classe 2: tendente a suficiente (50 a 83%); classe 3: suficiente (83 a 100%); classe 4: alta (100 a 117%); classe 5: tendente a excessiva (117 a 150%); e classe 6: excessiva (> 150%).

Para o DRIS, a partir da população de referência, foram estabelecidas as relações entre o teor de um dado nutriente e os teores dos demais nutrientes, sendo estas transformadas em variáveis normais reduzidas (Z). Pelo cálculo da média aritmética das relações diretas e inversas, transformadas em variáveis normais reduzidas, foi definido o Índice DRIS, de acordo com Alvarez V. e Leite (1999):

$$Z(A/B) = [(A/B) - (a/b)] / s \quad \text{e} \quad I_A = \frac{Z(A/B) + Z(A/C) + \dots + Z(A/N) - Z(B/A) - Z(C/A) - \dots - Z(N/A)}{2(n-1)}$$

Onde: A/B e a/b - relação dual entre os teores dos nutrientes (A e B) da população sob diagnose e na população de referência (a e b); s - desvio-padrão da relação dual da população de referência; I_A - índice DRIS do nutriente; e n - número de nutrientes envolvidos na análise.

Estes procedimentos foram utilizados para cálculo dos índices de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B. Os valores numéricos dos índices DRIS, considerando o sinal positivo ou negativo, indicam a direção e a magnitude do afastamento ao ponto ótimo (índice DRIS igual a zero), expresso em unidades de desvio-padrão. Para fins de interpretação, estes índices

foram agrupados em cinco classes, com base no conceito de faixas de Beaufils: classe 1 – deficiente ($< -4/3$ s); classe 2- tendente a suficiente ($-4/3$ a $-2/3$ s); classe 3 – suficiente ($-2/3$ a 0 s); classe 4 – alta (0 a $2/3$ s); classe 5 – tendente a excessiva ($2/3$ a $4/3$ s); e classe 6 – excessiva ($> 4/3$ s). A soma dos valores absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente dividido por n fornece o índice de equilíbrio nutricional médio (IEN_m) (Wadt, 1996), que permite comparar o equilíbrio nutricional de diversas amostras entre si e com diferentes números de nutrientes analisados. Portanto, espera-se que quanto menor o IEN_m melhor será o estado nutricional. Para fins de interpretação do estado nutricional global, agruparam-se os valores de IEN_m em três classes: classe 1 - desequilibrada ($\geq 1,0$); classe 2 - moderadamente desequilibrada ($0,4$ a $1,0$), e classe 3 - equilibrada ($\leq 0,4$).

Para a interpretação dos índices DRIS, Wadt et al. (1998a) incorporou o conceito de potencial de resposta à adubação (PRA) (Tabela 3). Para tanto, nas amostras diagnosticadas, os nutrientes, para cada clone, foram inicialmente classificados segundo o potencial de resposta à adubação em respostas: positiva (p), positiva ou nula (pz), nula (z), negativa ou nula (nz) e negativa (n).

Tabela 3: Interpretação dos índices DRIS, quanto ao potencial de resposta à adubação, em função das classes de status nutricional.

Índice	Módulo do Índice	+ LF OU + LE	Potencial de Reposta à Adubação
< 0	$> IEN_m$	Sim	P
< 0	$> IEN_m$	Não	pz
> 0	$> IEN_m$	Sim	n
> 0	$> IEN_m$	Não	nz
≤ 0	$\leq IEN_m$	independente	z
≥ 0	$\leq IEN_m$	independente	z

IEN_m = Índice de equilíbrio nutricional médio; + LF = o mais limitante por falta; + LE = o mais limitante por excesso; positiva (p); positiva ou nula (pz); negativa (n); negativa ou nula (nz) e nula (z). Fonte: Wadt et al. (1998a).

Após a obtenção das normas, realizaram-se comparações entre as normas de cada clone “normas específicas” e aquelas obtidas para o conjunto dos clones (CJ) “normas gerais” (C1 vs CJ; C2 vs CJ; C3 vs CJ e C4 vs CJ), por meio dos teste F e t até o nível de 5% de probabilidade. Inicialmente, aplicou-se o teste F (unilateral) para verificar a existência de homogeneidade de variâncias entre as populações, utilizando a seguinte fórmula:

$$F = \frac{S_A^2}{S_B^2}$$

Onde: S_A^2 = amostra de maior variância e S_B^2 = amostra de menor variância.

As médias foram comparadas por meio de teste t (bilateral) para amostras independentes. Para populações com variâncias homogêneas, o teste t foi aplicado utilizando a seguinte fórmula:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{S_c^2 \left(\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y} \right)}} \quad S_c^2 = \frac{(n_x - 1)S_x^2 + (n_y - 1)S_y^2}{n_x + n_y - 2}$$

Com $(n_x + n_y - 2)$ graus de liberdade, em que: $\bar{X} - \bar{Y}$ - normas dos respectivos métodos de diagnose (DRIS ou Kenworthy) das populações (\bar{X} e \bar{Y}) utilizadas em determinada comparação; S_x^2 e S_y^2 - variância das normas das populações (x e y) utilizadas na comparação; S_c^2 - variância comum entre as populações que estão sendo comparadas; e n_x e n_y - número de amostras das respectivas populações (x e y) utilizadas na comparação.

Para populações com variâncias heterogêneas, aplicou-se a seguinte fórmula:

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{S_c^2 \left(\frac{1}{n_x} + \frac{1}{n_y} \right)}} \quad n^* = \frac{\left(\frac{S_x^2}{n_x} + \frac{S_y^2}{n_y} \right)^2}{\frac{\left(\frac{S_x^2}{n_x} \right)^2}{n_x - 1} + \frac{\left(\frac{S_y^2}{n_y} \right)^2}{n_y - 1}}, \text{ com n graus de liberdade.}$$

A universalidade das normas também foi avaliada, ao comparar a freqüência de diagnósticos concordantes (FDC) das classes obtidas, utilizando normas específicas e gerais, para os métodos Kenworthy, DRIS e o PRA, considerando: os nutrientes separadamente para uma mesma amostra e apenas para o nutriente limitante por deficiência (p+pz), conforme Silva et al. (2005).

A validação estatística da diagnose do estado nutricional foi realizada pelo teste qui-quadrado. Verificou-se, para o método PRA, a hipótese de que a freqüência com que cada nutriente ocorreu como limitante primário por deficiência (resposta p) tenha sido atribuída ao acaso. Para isto, utilizou-se o teste de qui-quadrado, a 5% de probabilidade, com n-1 graus de liberdade (n=número de nutrientes envolvidos na análise) (Wadt et al., 1998b; Silva et al., 2004). Se verdadeira a hipótese considerada, as freqüências observadas para todos os nutrientes seriam estatisticamente iguais entre si. A hipótese alternativa indica que existem diferenças entre as freqüências observadas e esperadas dos nutrientes.

As freqüências esperada (FE) e observada (FO) foram calculadas da seguinte forma: $FE(\%) = [n^\circ \text{ total de amostras avaliadas} / n^\circ \text{ de nutrientes avaliados}] / n^\circ \text{ total de amostras}$

avaliadas] x 100; e FO(%)=(n° de amostras em que o nutriente foi considerado limitante primário por deficiência/n° total de amostras avaliadas) x 100.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para estabelecer as normas DRIS e IKW foram selecionadas 17, 21, 18 e 16 amostras referentes aos clones C1, C2, C3 e C4, respectivamente, as quais apresentaram alta performance. Segundo Mourão Filho (2004), Reis Júnior e Monnerat (2003) e Galíndez et al. (2009) este número de amostras é considerado suficiente. Para os autores, populações específicas, com pequeno número de observações, no entanto padronizadas (condições ambientais homogêneas), são bancos de dados eficientes para a obtenção de normas DRIS.

Analisando os valores correspondentes aos teores de nutrientes e produtividade média das amostras, nas subpopulações de alta e baixa produtividade verifica-se que para N e K, diferentemente do esperado (dados de literatura), a variância da população de baixa produtividade não é maior do que a da população de alta produtividade. Essa inversão nas variâncias pode estar relacionada à efeitos de diluição (Tabela 4).

Na Tabela 5, estão descritas a média e a variância dos teores dos nutrientes e de todas as relações entre os nutrientes, fornecendo suporte para fazer o diagnóstico por meio do IKW e do DRIS de minicepas de clones de *Eucalyptus*, utilizando a fórmula de Beaufils (1973), a de Jones (1981) e a de Elwali e Gascho (1984).

As condições de manejo, material amostrado, época de amostragem e idade dos tecidos foram semelhantes em todas as amostras, diferindo somente o material genético (clones) usado. Esta similaridade de condições permite verificar se realmente existem diferenças entre normas específicas e gerais, pelo menos em relação ao material genético.

Com a estratificação dos dados por material genético, a concordância entre normas específicas e gerais pelo teste t, considerando o nível de probabilidade de 5%, foi, em média, 82% para teores e 85% para relações duais para clones de *E. urophylla*, enquanto para clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, esta porcentagem foi, em média, 96% para teores e 93% para relações duais (Tabela 4). Já pelo teste F, a concordância entre normas gerais e específicas, também considerando o nível de probabilidade de 5%, foi, em média 41% para teores e 55% para relações duais para clones de *E. urophylla*, e para os clones de *E. grandis* x *E. urophylla* a concordância foi de 68 e 60 % para teores e relações duais, respectivamente. Este fato indica

Tabela 4: Valores mínimos, máximos, médios e desvios-padrão (s) para os teores de nutrientes em folhas de minicepas de eucaliptos, em amostras coletadas por clone e para o conjunto dos clones, em subpopulações de alta e baixa produtividade¹, no município de Belo Oriente – MG.

Nutriente	Material genético	Alta produtividade				Baixa produtividade			
		Mínimo	Máximo	Média	s	Mínimo	Máximo	Média	s
-----g kg ⁻¹ -----									
N	C1	37,2	49,8	42,4	3,7	37,6	49,1	42,8	2,9
	C2	33,3	45,2	40,1	3,9	36,3	47,5	41,0	3,2
	C3	35,1	47,0	42,2	3,2	37,2	47,4	42,1	3,1
	C4	37,8	47,1	42,0	2,8	36,4	48,3	42,3	3,0
	CJ	33,3	49,8	41,6	3,5	36,3	49,1	42,2	3,1
P	C1	3,3	4,5	3,9	0,4	3,5	5,5	4,2	0,5
	C2	3,3	4,9	4,0	0,4	3,2	6,1	4,1	0,7
	C3	3,6	5,7	4,2	0,5	3,4	4,7	4,1	0,3
	C4	3,5	4,8	4,2	0,4	2,8	4,9	4,1	0,5
	CJ	3,3	5,7	4,1	0,4	2,8	6,1	4,1	0,6
K	C1	14,1	26,2	21,6	3,6	19,1	30,0	22,7	2,8
	C2	12,3	27,2	22,0	3,8	19,2	29,8	23,5	2,8
	C3	14,6	31,5	23,9	4,2	19,2	31,0	24,4	2,9
	C4	16,8	30,4	24,2	4,3	18,5	32,1	25,0	3,7
	CJ	12,3	31,5	22,9	4,1	18,5	32,1	24,0	3,3
Ca	C1	4,9	10,3	7,4	1,5	5,4	13,8	8,0	2,2
	C2	4,0	7,7	5,6	1,0	3,9	8,6	5,5	1,3
	C3	4,1	10,1	6,3	1,5	4,1	8,9	6,2	1,4
	C4	3,9	9,0	6,0	1,2	4,7	10,5	6,7	1,5
	CJ	3,9	10,3	6,2	1,4	4,1	13,8	6,7	1,9
MG	C1	2,8	5,7	3,9	0,8	2,7	5,6	3,7	0,7
	C2	2,6	5,6	3,7	0,7	2,1	5,9	3,6	0,9
	C3	2,9	5,7	3,8	0,8	2,5	4,8	3,6	0,6
	C4	2,8	5,9	3,8	0,8	2,3	5,4	3,4	0,8
	CJ	2,6	5,9	3,8	0,8	2,1	5,9	3,6	0,8
S	C1	0,6	3,5	1,9	0,8	0,5	5,5	2,6	1,2
	C2	0,6	3,2	1,7	0,8	0,5	2,5	1,7	0,4
	C3	0,6	3,9	2,0	0,9	0,5	5,5	2,2	1,1
	C4	0,7	4,9	1,8	1,0	1,0	3,6	2,1	0,7
	CJ	0,6	4,9	1,9	0,9	0,5	5,5	2,2	1,0
-----mg kg ⁻¹ -----									
Zn	C1	27,3	62,5	42,6	10,7	13,4	74,8	42,7	13,1
	C2	26,5	65,7	44,6	9,9	6,6	55,7	40,4	11,0
	C3	14,8	67,6	40,9	12,1	23,8	60,3	40,8	9,2
	C4	28,2	61,8	43,5	10,0	12,8	77,0	42,1	14,3
	CJ	14,8	67,6	43,0	10,6	6,6	77,0	41,5	12,4
Cu	C1	11,0	22,6	15,5	3,4	8,7	52,1	17,9	10,1
	C2	4,5	44,8	9,9	8,2	1,8	36,6	10,5	7,2
	C3	10,9	47,4	18,6	9,6	6,6	19,9	12,9	2,9
	C4	9,9	19,5	13,1	2,5	6,5	46,2	16,8	9,5
	CJ	4,5	47,4	14,1	7,5	1,8	52,1	15,0	8,6
Fe	C1	49,9	178,8	100,4	36,6	65,4	223,0	104,9	48,5
	C2	33,0	165,0	84,2	35,1	51,0	216,5	99,2	42,3
	C3	39,8	183,9	96,8	39,4	56,3	167,8	98,1	34,0
	C4	50,0	192,5	99,3	38,2	71,5	167,0	99,4	25,9
	CJ	33,0	192,5	94,5	37,1	51,0	223,0	101,7	39,5
Mn	C1	264,8	1402,0	818,8	389,5	393,4	1887,5	839,4	430,9
	C2	247,0	850,0	516,4	177,1	312,0	1320,0	680,9	276,3
	C3	302,7	1123,0	584,4	215,6	471,0	1459,4	767,1	297,5
	C4	222,0	1190,0	681,5	295,7	246,5	1847,3	816,9	483,7
	CJ	222,0	1402,0	641,5	293,2	246,5	1887,5	778,1	390,5
B	C1	22,0	76,3	51,1	13,3	23,2	91,9	49,7	14,2
	C2	14,3	84,8	51,2	13,3	36,0	72,7	48,7	10,4
	C3	24,6	80,2	51,0	16,3	9,8	62,0	40,4	11,7
	C4	35,8	78,8	51,9	13,3	26,8	81,0	45,1	15,5
	CJ	14,3	84,8	51,3	13,8	9,8	91,9	46,2	14,0

Tabela 5: Normas dos teores foliares¹ de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B e de suas relações duais, para os métodos Índice Balanceado de Kenworthy (IKW)² e DRIS³, em minicepas de clones de eucalipto, população de referência⁴, considerando os clones C1 e C2 (clones de *Eucalyptus urophylla*) e C3 e C4 (clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*), e CJ (conjunto de todos os clones) e comparação entre normas específicas (C1, C2, C3 e C4) e normas gerais (CJ).

Variável	Normas específicas ₅								Normas gerais ₆		Comparação							
	C1 (n=17)		C2 (n=21)		C3 (n=18)		C4 (n=16)		CJ (n=72)		Médias				Variância			
	\bar{y}_s	S ₉	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ
N	42,350	3,689	40,096	3,892	42,185	3,213	42,045	2,784	41,584	3,518	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	**
P	3,935	0,391	4,007	0,419	4,187	0,543	4,162	0,407	4,069	0,447	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	**
K	21,598	3,596	21,984	3,797	23,874	4,209	24,257	4,339	22,870	4,062	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
Ca	7,401	1,500	5,585	1,009	6,262	1,490	5,990	1,201	6,273	1,447	**	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
Mg	3,849	0,820	3,670	0,674	3,853	0,780	3,755	0,804	3,777	0,754	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
S	1,883	0,758	1,752	0,768	2,034	0,945	1,804	1,004	1,865	0,857	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
Zn	42,639	10,687	44,567	9,943	40,904	12,145	43,480	10,009	42,955	10,583	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
Cu	15,421	3,381	9,926	8,240	18,625	9,589	13,116	2,548	14,107	7,488	ns	**	*	ns	ns	ns	ns	ns
Fe	100,447	36,629	84,173	35,098	96,852	39,351	99,338	38,156	94,555	37,073	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
Mn	818,806	389,517	516,323	177,090	584,422	215,619	681,541	295,696	641,483	293,221	*	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns
B	51,079	13,309	51,203	13,345	50,956	16,313	51,870	13,302	51,260	13,831	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	**
N/P	10,814	0,962	10,037	0,697	10,177	1,059	10,161	0,848	10,283	0,926	*	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
N/K	2,014	0,382	1,871	0,331	1,825	0,380	1,785	0,333	1,874	0,359	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
N/Ca	5,930	1,203	7,378	1,326	7,045	1,427	7,227	1,223	6,919	1,395	**	ns	ns	ns	**	**	ns	**
N/Mg	11,369	2,113	11,174	1,721	11,303	2,049	11,623	2,338	11,352	2,007	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
N/S	27,067	13,955	27,534	12,919	25,840	13,491	28,819	12,860	27,286	13,058	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
N/Zn	1,046	0,238	0,941	0,225	1,132	0,430	1,015	0,242	1,030	0,298	ns	ns	ns	ns	**	**	*	**
N/Cu	2,842	0,539	4,931	1,558	2,568	0,658	3,299	0,549	3,484	1,362	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns
N/Fe	0,470	0,153	0,547	0,202	0,498	0,179	0,470	0,143	0,500	0,173	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
N/Mn	0,065	0,034	0,087	0,032	0,080	0,026	0,076	0,039	0,078	0,033	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
N/B	0,903	0,351	0,878	0,481	0,921	0,341	0,857	0,204	0,890	0,361	ns	ns	ns	ns	**	*	**	ns
P/N	0,093	0,008	0,100	0,007	0,099	0,011	0,099	0,008	0,098	0,009	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P/K	0,186	0,030	0,187	0,032	0,180	0,033	0,176	0,034	0,183	0,032	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P/Ca	0,553	0,131	0,739	0,151	0,701	0,170	0,713	0,115	0,680	0,159	**	ns	ns	ns	**	**	ns	**
P/Mg	1,060	0,218	1,120	0,203	1,122	0,230	1,150	0,245	1,113	0,221	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
P/S	2,544	1,420	2,789	1,405	2,580	1,399	2,877	1,347	2,699	1,372	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**
P/Zn	0,097	0,022	0,094	0,026	0,112	0,040	0,100	0,024	0,101	0,029	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns
P/Cu	0,264	0,053	0,495	0,175	0,256	0,073	0,324	0,045	0,343	0,146	*	**	*	ns	ns	ns	ns	ns
P/Fe	0,044	0,016	0,055	0,022	0,050	0,019	0,047	0,016	0,049	0,019	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P/Mn	0,006	0,003	0,009	0,003	0,008	0,002	0,007	0,004	0,008	0,003	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P/B	0,084	0,034	0,090	0,060	0,091	0,033	0,085	0,021	0,088	0,040	ns	ns	ns	ns	**	*	**	ns
K/N	0,512	0,087	0,549	0,085	0,568	0,105	0,577	0,097	0,551	0,095	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns

...Continua

Variável	Normas específicas ₅								Normas gerais ₆				Comparação							
	C1 (n=17)		C2 (n=21)		C3 (n=18)		C4 (n=16)		CJ (n=72)		Médias				Variância					
	\bar{y}_s	S ₉	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ		
K/P	5,501	0,879	5,492	0,853	5,742	1,076	5,849	1,027	5,636	0,950	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns		
K/Ca	3,015	0,747	4,008	0,781	3,913	0,748	4,144	0,879	3,780	0,886	**	ns	ns	ns	**	**	**	**		
K/Mg	5,825	1,531	6,164	1,555	6,322	1,235	6,691	1,736	6,241	1,517	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns		
K/S	13,898	7,496	15,133	7,233	14,594	7,864	16,697	8,441	15,054	7,632	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns		
K/Zn	0,537	0,151	0,522	0,171	0,664	0,392	0,587	0,168	0,575	0,244	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**		
K/Cu	1,467	0,424	2,692	0,976	1,435	0,416	1,893	0,402	1,911	0,818	*	**	*	ns	ns	ns	ns	ns		
K/Fe	0,238	0,080	0,297	0,113	0,281	0,111	0,271	0,091	0,273	0,101	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**		
K/Mn	0,032	0,014	0,047	0,017	0,046	0,017	0,042	0,016	0,042	0,017	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
K/B	0,469	0,223	0,492	0,319	0,527	0,220	0,501	0,161	0,497	0,239	ns	ns	ns	ns	**	*	**	**		
Ca/N	0,175	0,034	0,140	0,027	0,149	0,040	0,142	0,024	0,151	0,034	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns		
Ca/P	1,891	0,383	1,405	0,272	1,521	0,436	1,438	0,232	1,556	0,385	**	ns	ns	ns	**	**	ns	**		
Ca/K	0,349	0,079	0,259	0,053	0,265	0,055	0,252	0,054	0,280	0,071	**	ns	ns	ns	ns	**	**	**		
Ca/Mg	1,968	0,431	1,565	0,392	1,646	0,330	1,628	0,313	1,694	0,396	*	ns	ns	ns	ns	**	**	**		
Ca/S	4,611	2,035	3,800	1,662	3,761	1,833	4,084	1,897	4,045	1,841	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Ca/Zn	0,185	0,062	0,134	0,049	0,180	0,134	0,145	0,048	0,160	0,083	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	ns		
Ca/Cu	0,499	0,141	0,700	0,287	0,377	0,133	0,464	0,089	0,519	0,221	ns	**	*	ns	**	**	**	ns		
Ca/Fe	0,082	0,030	0,075	0,029	0,075	0,034	0,066	0,022	0,075	0,029	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Ca/Mn	0,011	0,005	0,012	0,005	0,012	0,006	0,011	0,005	0,012	0,005	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Ca/B	0,159	0,072	0,126	0,090	0,140	0,071	0,121	0,032	0,136	0,071	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Mg/N	0,091	0,017	0,092	0,016	0,092	0,019	0,090	0,019	0,091	0,017	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Mg/P	0,479	0,192	0,441	0,197	0,491	0,235	0,437	0,247	0,462	0,214	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns		
Mg/K	2,053	0,765	2,107	0,656	1,772	0,586	1,862	0,641	1,956	0,665	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**		
Mg/Ca	2,170	0,665	1,832	1,429	2,999	1,246	2,231	0,430	2,292	1,131	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	ns		
Mg/S	27,298	11,091	23,761	10,936	25,672	10,524	27,417	11,914	25,886	10,967	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Mg/Zn	494,053	306,426	373,932	278,066	362,622	243,066	475,601	320,113	422,060	286,711	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Mg/Cu	1,237	0,342	1,163	0,287	1,324	0,498	1,242	0,385	1,238	0,379	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns		
Mg/Fe	0,729	0,157	1,239	0,364	0,621	0,179	0,806	0,191	0,868	0,346	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns		
Mg/Mn	0,023	0,009	0,026	0,012	0,022	0,010	0,020	0,008	0,023	0,010	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Mg/B	0,009	0,006	0,016	0,006	0,013	0,005	0,013	0,008	0,013	0,007	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
S/N	0,044	0,018	0,043	0,018	0,048	0,022	0,042	0,022	0,045	0,020	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
S/P	10,913	2,968	11,165	2,292	9,754	2,654	10,472	2,262	10,599	2,556	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**		
S/K	0,740	0,226	0,450	0,317	0,779	0,332	0,555	0,139	0,624	0,299	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns		
S/Ca	13,892	5,065	15,046	5,165	16,060	6,955	16,677	5,694	15,389	5,726	ns	*	ns	ns	**	**	ns	**		
S/Mg	223,332	122,391	145,254	56,906	159,618	76,877	189,558	96,332	177,125	92,670	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns		
S/Zn	33,042	20,690	35,084	18,706	31,332	19,668	36,604	20,751	34,002	19,558	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns		
S/Cu	0,268	0,068	0,237	0,056	0,279	0,130	0,247	0,066	0,257	0,085	ns	ns	ns	ns	**	**	**	**		
S/Fe	0,135	0,033	0,233	0,087	0,113	0,042	0,141	0,041	0,160	0,074	ns	**	*	ns	ns	ns	**	**		
S/Mn	0,067	0,032	0,104	0,050	0,085	0,043	0,083	0,034	0,086	0,043	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**		
S/B	0,018	0,011	0,024	0,009	0,021	0,008	0,021	0,013	0,021	0,010	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Zn/N	1,010	0,258	1,115	0,236	0,962	0,250	1,035	0,231	1,034	0,245	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**		

...Continua

Variável	Normas específicas ₅								Normas gerais ₆				Comparação							
	C1 (n=17)		C2 (n=21)		C3 (n=18)		C4 (n=16)		CJ (n=72)		Médias				Variância					
	\bar{y}_s	S ₉	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ		
Zn/P	3,932	0,820	2,455	1,856	4,520	2,463	3,145	0,472	3,473	1,811	ns	*	*	ns	ns	ns	*	ns		
Zn/K	4,711	1,651	3,863	1,510	4,100	1,551	4,154	1,531	4,187	1,558	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**		
Zn/Ca	113,377	59,769	96,578	41,520	99,043	46,425	118,363	60,265	106,002	51,575	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Zn/Mg	13,381	3,040	14,031	3,214	13,595	4,809	14,122	3,717	13,789	3,680	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns		
Zn/S	6,979	3,755	6,915	3,269	6,318	3,678	6,980	3,199	6,795	3,416	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**		
Zn/Cu	0,050	0,013	0,044	0,010	0,048	0,016	0,043	0,012	0,046	0,013	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Zn/Fe	0,398	0,101	0,897	0,268	0,435	0,143	0,576	0,174	0,592	0,277	**	**	*	ns	ns	**	ns	**		
Zn/Mn	0,124	0,036	0,151	0,050	0,134	0,051	0,130	0,043	0,136	0,046	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	ns		
Zn/B	0,045	0,039	0,057	0,026	0,049	0,035	0,051	0,032	0,051	0,032	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns	ns		
Cu/N	0,364	0,069	0,244	0,180	0,440	0,221	0,312	0,057	0,337	0,168	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns		
Cu/P	3,932	0,820	2,455	1,856	4,520	2,463	3,145	0,472	3,473	1,811	ns	*	*	ns	ns	ns	*	ns		
Cu/K	0,740	0,226	0,450	0,317	0,779	0,332	0,555	0,139	0,624	0,299	ns	*	ns	ns	**	ns	ns	ns		
Cu/Ca	2,170	0,665	1,832	1,429	2,999	1,246	2,231	0,430	2,292	1,131	ns	ns	*	ns	**	ns	ns	ns		
Cu/Mg	4,071	0,809	2,689	1,879	4,826	2,078	3,577	0,746	3,747	1,718	ns	*	*	ns	ns	ns	ns	ns		
Cu/S	10,147	6,373	6,617	4,790	10,774	6,052	9,209	5,083	9,066	5,713	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**		
Cu/Zn	0,377	0,104	0,216	0,116	0,538	0,564	0,310	0,061	0,355	0,313	ns	*	ns	ns	ns	ns	**	ns		
Cu/Fe	0,174	0,076	0,151	0,176	0,224	0,150	0,148	0,061	0,174	0,131	ns	ns	ns	ns	**	*	ns	ns		
Cu/Mn	0,023	0,012	0,023	0,030	0,038	0,030	0,023	0,010	0,027	0,024	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns		
Cu/B	0,320	0,104	0,191	0,095	0,400	0,233	0,264	0,068	0,290	0,159	ns	ns	*	ns	**	ns	*	ns		
Fe/N	2,370	0,821	2,092	0,833	2,273	0,844	2,334	0,785	2,256	0,813	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**		
Fe/P	25,813	9,720	21,026	8,376	23,072	8,548	23,870	8,592	23,300	8,790	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**		
Fe/K	4,711	1,651	3,863	1,510	4,100	1,551	4,154	1,531	4,187	1,558	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**		
Fe/Ca	13,892	5,065	15,046	5,165	16,060	6,955	16,677	5,694	15,389	5,726	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	**		
Fe/Mg	27,298	11,091	23,761	10,936	25,672	10,524	27,417	11,914	25,886	10,967	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Fe/S	62,000	32,651	56,467	32,628	56,112	26,432	63,463	25,475	59,239	29,242	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	**		
Fe/Zn	2,427	0,931	2,090	1,351	2,536	1,251	2,335	0,831	2,336	1,123	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**		
Fe/Cu	6,799	2,712	11,057	7,416	5,921	2,817	7,734	2,910	8,029	5,006	ns	*	ns	ns	ns	*	ns	**		
Fe/Mn	0,161	0,110	0,184	0,101	0,183	0,086	0,181	0,104	0,178	0,099	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns		
Fe/B	2,123	1,039	2,044	2,275	2,066	0,945	1,984	0,770	2,055	1,429	ns	ns	ns	ns	**	*	**	ns		
Mn/N	19,463	9,526	12,872	4,119	13,873	5,121	16,301	7,341	15,441	7,036	ns	ns	ns	ns	*	ns	**	ns		
Mn/P	206,464	94,740	128,638	40,680	139,457	48,230	162,635	66,989	157,273	70,019	*	ns	ns	ns	*	ns	**	**		
Mn/K	38,724	20,967	23,963	8,713	25,563	11,844	28,068	11,872	28,760	14,734	*	ns	ns	ns	*	ns	**	**		
Mn/Ca	113,377	59,769	96,578	41,520	99,043	46,425	118,363	60,265	106,002	51,575	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Mn/Mg	223,332	122,391	145,254	56,906	159,618	76,877	189,558	96,332	177,125	92,670	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns		
Mn/S	494,053	306,426	373,932	278,066	362,622	243,066	475,601	320,113	422,060	286,711	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Mn/Zn	19,925	9,504	12,141	4,652	15,100	5,194	15,834	6,241	15,539	7,016	*	*	ns	ns	*	**	**	**		
Mn/Cu	54,214	26,262	63,113	24,412	36,665	16,967	52,090	21,612	51,950	24,253	ns	ns	*	ns	ns	ns	**	**		
Mn/Fe	9,397	5,778	7,223	3,984	7,049	4,011	8,004	5,139	7,866	4,721	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	ns		
Mn/B	18,262	12,247	11,280	6,148	13,425	8,488	14,565	8,878	14,195	9,220	ns	ns	ns	ns	ns	**	**	**		
B/N	1,211	0,307	1,283	0,329	1,205	0,361	1,237	0,318	1,236	0,325	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**		

...Continua

Variável	Normas específicas ⁵								Normas gerais ⁶		Comparação							
	C1 (n ₇ =17)		C2 (n=21)		C3 (n=18)		C4 (n=16)		CJ (n=72)		Médias				Variância			
	\bar{y}_8	S ₉	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	\bar{y}	S	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ	C1 vs CJ	C2 vs CJ	C3 vs CJ	C4 vs CJ
B/P	13,150	3,763	12,949	3,458	12,260	3,946	12,517	3,064	12,728	3,521	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
B/K	2,474	0,898	2,436	0,880	2,219	0,877	2,251	0,897	2,350	0,875	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
B/Ca	7,209	2,364	9,553	3,042	8,637	3,489	8,889	2,575	8,623	2,989	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns	**
B/Mg	13,381	3,040	14,031	3,214	13,595	4,809	14,122	3,717	13,789	3,680	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
B/S	33,042	20,690	35,084	18,706	31,332	19,668	36,604	20,751	34,002	19,558	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	ns
B/Zn	1,237	0,342	1,163	0,287	1,324	0,498	1,242	0,385	1,238	0,379	ns	ns	ns	ns	**	**	ns	ns
B/Cu	3,364	0,796	6,006	1,874	3,076	1,223	4,037	1,101	4,212	1,790	ns	**	*	ns	ns	ns	**	**
B/Fe	0,569	0,246	0,731	0,389	0,601	0,298	0,579	0,230	0,626	0,306	ns	ns	ns	ns	**	ns	**	**
B/Mn	0,082	0,050	0,114	0,061	0,100	0,048	0,098	0,067	0,099	0,057	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns

¹Teores dos macronutrientes em g kg⁻¹ e micronutrientes em mg kg⁻¹; ²Kenworthy (1961); ³Beaufils (1973); ⁴> que a média; ⁵obtidas para o clone específico; ⁶provenientes do conjunto dos clones estudados; ⁷número de observações; ⁸média; ⁹desvio-padrão; ns, * e **: não significativo, (p<0,05) e (p<0,01) pelos testes t e F.

maior influência na aquisição de nutrientes pelos clones de *E. urophylla*, em comparação aos clones de *E. grandis* x *E. urophylla* e que a variância entre normas específicas e gerais são mais divergentes que os valores médios dos teores e relações duais na subpopulação de alta produtividade.

Ao analisar conjuntamente a comparação da média e variância (testes t e F) entre normas gerais e específicas a concordância entre as mesmas reduz ainda mais, tendo em vista o maior rigor deste critério de avaliação. Neste caso, a concordância entre normas foi, em média, 23% para teores e 46% para relações duais para clones *E. urophylla* e, 64% para teores e 56% para relações duais para clones de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Os resultados observados indicam que os teores e as relações duais são sensíveis ao material genético utilizado, dependendo do nutriente em questão. Estes resultados divergem da principal premissa para utilização de métodos de diagnose, como o DRIS, por exemplo, que é a relativa constância das relações entre os nutrientes (relações duais), comparativamente aos teores de cada nutriente, considerado isoladamente (Beaufils, 1973), o que determina ao DRIS certa independência em relação a fatores reconhecidamente influentes nos teores dos nutrientes, como a região de cultivo, a idade, órgão da planta amostrado, material genético, dentre outros.

Silva et al. (2005) e Rocha (2008) também encontraram diferenças entre os dois grupos de normas ao compararem relações duais dos nutrientes em: árvores adultas de eucalipto em diferentes localidades, épocas de amostragem e época de plantio para normas derivadas de plantios jovens (principalmente em períodos secos). Estes resultados, bem como os verificados para os clones estudados, contrariam a pressuposição de que as normas podem ser obtidas e usadas, independentemente da cultivar, região ou idade (Beaufils, 1973; Wadt, 1996). Neste sentido, Rocha et al. (2007) sugerem o desenvolvimento de normas específicas que sejam elaboradas para diferentes locais e condições de cultivo, levando-se em conta fatores como irrigação, espaçamento, densidade de plantio, entre outros.

As relações duais em que os nutrientes Mg, S, Fe e Mn estão no numerador, de modo geral, resultaram em relações com alto CV, bem como elevado desvio-padrão; resultados semelhantes foram observados nas relações duais em que o Ca, S, Fe, Mn e B estavam no denominador. Em relação aos teores, de modo geral, os valores de CV estão abaixo de 30% para N, P, K, Ca, Mg, Zn e B e acima deste valor para S, Cu, Fe e Mn, sendo o Cu o nutriente que apresentou os maiores valores. Normas estabelecidas para eucalipto em campo, em diversas localidades, com diferentes idades, materiais genéticos e condições edafoclimáticas também apresentaram padrão semelhante relacionados aos nutrientes e seus respectivos

valores de CV (Silva et al., 2004; Rocha, 2008). Além disso, os altos valores de CV observados para S, Cu, Fe e Mn podem estar relacionados a maior amplitude da faixa de exigência nutricional apresentada pela espécie tanto em nível de campo quanto em viveiro.

Para os clones C2 e C3 as relações duais mais afetadas, na comparação entre normas gerais e específicas, foram aquelas relacionadas com Cu, tanto na forma direta como na inversa, indicando que esses clones apresentam diferenças na aquisição desse nutriente, o que poderia estar alterando as relações duais nas quais estão envolvidos.

A concentração média dos nutrientes não apresentou grande variação entre os clones, com exceção para Cu, Mn e Fe. Esta variação na concentração desses nutrientes nos tecidos não é muito difícil de ocorrer, tendo em vista que esses nutrientes frequentemente podem ser determinados em amostras erroneamente, devido à contaminação das amostras com poeira por exemplo. Além disso, o procedimento de sucessivas lavagens para a retirada da poeira pode levar a retirada de alguns nutrientes, sendo esta prática pouco recomendada. Desta forma, acredita-se que a variação, observada entre os clones, na concentração destes nutrientes nas miniestacas parece não estar relacionada apenas ao material genético, mas também, com a determinação destes em laboratório.

Apesar destes resultados indicarem diferenças entre normas específicas e gerais, na prática a diferença entre os diagnósticos torna-se mais importante, como observado por 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.

Para confirmar esta pressuposição, foi realizada a comparação entre os diagnósticos obtidos tanto com normas gerais quanto com normas específicas. A frequência de diagnósticos concordantes (FDC), considerando os clones em conjunto, foi em média 90, 85 e 73% para os métodos IKW, DRIS e PRA, respectivamente (Tabela 6), sendo esses valores compatíveis aos obtidos por Rocha (2008), avaliando os mesmos métodos em dois clones de eucalipto em campo. Contudo, considerando os clones individualmente, a maior discordância de diagnósticos entre os grupos de normas foi verificado para os clones C1 e C2 (clones de *E. urophylla*). Isto, mais uma vez, indica maior variabilidade na aquisição de nutrientes por estes clones. Wadt et al. (1999) também verificaram diferenças na eficiência e exigência nutricional de clones de eucalipto em campo.

Tabela 6: Frequência de amostras com diagnósticos concordantes (FDC) para as classes: deficiente, tendente a suficiente, suficiente, alta, tendente a excessiva e excessiva pelos métodos IKW¹ e DRIS², e resposta à adubação: positiva, positiva ou nula, nula, negativa ou nula e negativa para o método DRIS-PRA³, entre normas específicas e gerais, para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B em minicepas de clones de eucalipto, subpopulação de baixa produtividade⁴, no município de Belo Oriente – MG.

Método	Clone	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	\bar{y}	IE _{Nm}
		-----FDC (%)-----												
IKW	C1 (n=19)	100	84,2	89,5	63,2	94,7	100	100	84,2	78,9	57,9	100	86,6	-
	C2 (n=18)	100	94,4	100	88,9	94,4	100	100	38,9	88,9	55,5	100	87,4	-
	C3 (n=18)	100	100	100	100	100	88,9	94,4	66,7	94,4	77,8	94,4	92,4	-
	C4 (n=18)	100	94,4	94,4	94,4	100	88,9	100	77,8	94,4	100	94,4	94,4	-
	CJ (n=73)	100	93,2	95,9	86,3	97,3	94,5	98,6	67,1	89,0	72,6	97,3	90,2	-
DRIS	C1 (n=19)	89,5	73,7	68,4	78,9	100	89,5	94,7	73,7	89,5	47,4	100	82,3	78,9
	C2 (n=18)	100	77,8	94,4	88,9	66,7	88,9	100	61,1	83,3	50,0	100	82,8	77,8
	C3 (n=18)	100	100	100	94,4	100	100	100	66,7	77,8	72,2	83,3	90,4	83,3
	C4 (n=18)	88,9	66,7	88,9	61,1	100	94,4	94,4	66,7	94,4	94,4	77,8	84,3	66,7
	CJ (n=73)	94,5	79,5	87,7	80,8	91,8	93,2	97,3	67,1	86,3	65,8	90,4	84,9	76,7
PRA	C1 (n=19)	100	57,9	31,6	42,1	84,2	89,5	100	68,4	89,5	57,9	73,7	72,3	-
	C2 (n=18)	83,3	66,7	61,1	77,8	88,9	94,4	88,9	11,1	61,1	72,2	61,1	69,7	-
	C3 (n=18)	88,9	83,3	72,2	77,8	100	72,2	83,3	27,8	94,4	44,4	66,7	73,7	-
	C4 (n=18)	72,2	88,9	61,1	55,5	83,3	83,3	94,4	61,1	100	77,8	72,2	77,3	-
	CJ (n=73)	86,3	74,0	56,2	63,0	89,0	84,9	91,8	42,5	86,3	63,0	68,5	73,2	-

¹Kenworthy (1961); ²Beaufils (1973); ³Beaufils (1973), considerando o IENm proposto por Wadt (1996), PRA - potencial de resposta à adubação; ⁴≤ que a média.

A menor FDC apresentada pelo método PRA pode ser reflexo das distintas variabilidades entre os materiais genéticos (tanto para normas gerais quanto para normas específicas), ou seja, a variabilidade geral das normas específicas pode ser muito divergente da variabilidade geral da norma geral.

O nutriente que apresentou maior discrepância no diagnóstico, ao usar normas gerais e específicas, foi o Cu independente do método utilizado, seguido do Mn. Estes nutrientes foram também os que apresentaram maior diferença nos teores foliares entre os clones estudados. A variação na concentração de nutrientes é resultante de diferenças na taxa de acúmulo destes, sugerindo que os clones usados apresentam taxas de aquisição de nutrientes distintas, sendo uns mais eficientes que outros. Além disso, a menor concordância entre a frequência de diagnósticos é considerada reflexo das diferenças nos teores foliares dos nutrientes entre os clones, conforme atestado pelos maiores valores de CV dos teores e relações duais dos nutrientes.

Comparando a proporção de normas específicas e gerais que não diferiram estatisticamente com a proporção de diagnósticos concordantes, verificou-se que, para o método IKW (que considera os teores isolados dos nutrientes), na maior parte dos casos, a FDC foi maior que entre as normas que não diferiram pelo testes t, enquanto para os métodos

DRIS e PRA essa concordância foi menor (Tabelas 5 e 6). Já, ao analisar a concordância entre as normas pela variância, a frequência de diagnósticos concordantes foi maior que a comparação pelo teste F, independente do método analisado. Isto pode ter ocorrido pelo fato dos teores de alguns nutrientes apresentarem altos valores de CV, o que pode ter contribuído para a maior FDC verificada em comparação a maior diferença de resultados das normas pelos testes t e F. O método IKW tem menor sensibilidade na discriminação da deficiência nutricional quando o CV do nutriente é elevado (maior que 30%), atribuindo como suficiente um teor que na realidade se enquadra como deficiente (Kurihara, 2004; Rocha, 2008). Quando o CV atinge valores acima de 40% os critérios de interpretação dos resultados perdem o significado, e os teores dos nutrientes para serem considerados como deficientes teriam de assumir valores muito pequenos ou até absurdos (negativos) (Rocha, 2008).

O diagnóstico pelo potencial de resposta à adubação (PRA) desenvolvido por Wadt (1996) possibilita verificar a chance de resposta à adubação quando o nutriente é diagnosticado como deficiente. Para isto, a concordância de diagnóstico entre as classes de reposta p + pz (nutrientes limitante por falta) é mais importante do ponto de vista prático, uma vez que permite a correção por meio da adição do respectivo nutriente (Silva et al., 2005). Verificou-se que a FDC com normas específicas, considerando todos os nutrientes, variou em média de 90 a 95% (Tabela 7), sendo que o nutriente que apresentou maior divergência no diagnóstico, ao utilizar os dois grupos de normas, foi o Cu seguido do Ca.

Tabela 7: Frequência de amostras com diagnósticos concordantes (FDC), segundo o método DRIS-PRA¹, reposta p + pz (nutrientes limitante por falta), entre normas específicas e gerais, para os nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B em minicepas de clones de eucalipto, subpopulação de baixa produtividade², no município de Belo Oriente – MG.

Clone	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	\bar{y}
	-----FDC (%)-----											
C1 (n=19)	100,0	78,9	63,2	78,9	89,5	100,0	100,0	94,7	94,7	89,5	94,7	89,5
C2 (n=18)	100,0	94,4	100,0	94,4	100,0	100,0	88,9	55,5	72,2	100,0	88,9	90,4
C3 (n=18)	100,0	94,4	100,0	88,9	100,0	94,4	100,0	38,9	100,0	88,9	88,9	90,4
C4 (n=18)	88,9	94,4	100,0	94,4	88,9	100,0	100,0	94,4	100,0	94,4	94,4	95,4
CJ (n=73)	97,3	90,4	90,4	89,0	94,5	98,6	97,3	71,2	91,8	93,2	91,8	91,4

¹Beaufils (1973), considerando o IENm proposto por Wadt (1996), PRA-potencial de resposta à adubação; ²≤ que a média.

De acordo com os critérios de avaliação utilizados, constatou-se diferenças entre os diagnósticos realizados, considerando os métodos adotados para sua avaliação. Além disso, as diferenças detectadas, inicialmente, por meio da comparação dos valores dos teores e relações duais dos nutrientes em minicepas de eucalipto influenciam o resultado da diagnose do estado nutricional realizada a partir de normas obtidas em diferentes clones.

No entanto, ao considerar um limite de 75% de concordância como suficiente para a utilização de normas gerais ao invés de normas específicas, recomenda-se a adoção de normas gerais na diagnose do estado nutricional de minicepas de eucalipto, tendo em vista a boa confiabilidade apresentada quando da adoção desta prática no resultado final do processo de diagnose.

A validação da diagnose (em última análise, a das normas) é realizada, tradicionalmente, com base em experimentos de fertilização. Uma alternativa para a validação dos resultados de diagnósticos realizados é constatar se as freqüências de ocorrência dos nutrientes como os mais limitantes (resposta p) são devidas, ou não, ao acaso (Wadt et al., 1998b; Silva et al., 2004). Caso tenha sido atribuída ao acaso, significa que os índices DRIS não devem ser utilizados na avaliação do estado nutricional de minicepas de eucalipto.

Neste trabalho, semelhante ao utilizado por Wadt et al. (1998b), Silva et al. (2004), Urano et al. (2006), Dias et al. (2010) e Serra et al. (2010), a verificação desta hipótese foi realizada por meio do teste de qui-quadrado aplicado à freqüência, em contagem, com que cada nutriente ocorreu como limitante primário por falta nos diferentes clones e para o conjunto dos clones. Tanto pela diagnose realizada mediante normas gerais quanto específicas, rejeitou-se a hipótese de que as freqüências dos diagnósticos, observadas para todos os nutrientes, foram estatisticamente iguais entre si, o que indica que as normas geradas foram sensíveis para diagnosticar diferenças de probabilidade de resposta positiva à adubação para os nutrientes avaliados, e que a freqüência de diagnósticos com resposta p não pode ser atribuída ao acaso (Tabela 8).

Tabela 8: Teste de qui-quadrado (χ^2) da freqüência de amostras para a ocorrência de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B, em minicepas de clones de eucalipto, como os nutrientes considerados limitantes primários por deficiência pelo método DRIS-PRA¹ mediante normas específicas por clone e normas gerais para o conjunto dos clones, subpopulação de baixa produtividade², município de Belo Oriente – MG.

Clone	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	χ^2
	------(%)-----											
C1 (n=19)	0,0	5,6	0,0	21,1	10,5	5,6	5,6	15,7	21,1	10,5	5,6	**
C2 (n=18)	0,0	11,1	0,0	27,8	27,8	5,5	5,5	5,5	5,5	0,0	11,1	**
C3 (n=18)	0,0	11,1	0,0	11,1	5,5	5,5	0,0	27,8	16,7	5,5	16,7	**
C4 (n=18)	5,5	16,7	0,0	11,1	5,5	0,0	5,5	11,1	0,0	16,7	27,7	**
Conj. (n=73)	0,0	8,2	2,7	17,8	13,7	5,5	4,1	13,7	9,6	6,8	17,8	**

¹Beaufils (1973), considerando o IENm proposto por Wadt (1996), PRA-potencial de resposta à adubação; ²≤ que a média. LF – limitante por falta, NL – não limitante e LE – limitante por excesso; * e **: (P<0,05) e p(<0,01) pelo teste de χ^2 (hipótese nula: freqüência deve-se ao acaso).

CONCLUSÕES

O diagnóstico do estado nutricional de minicepas de eucalipto usando normas gerais proporciona resultados satisfatórios, portanto, recomenda-se utilizar normas gerais, independente do material genético.

O grau de universalidade das normas varia entre os métodos IKW, DRIS e PRA e o procedimento adotado na sua avaliação, sendo que a FDC é menor para clones de *E. urophylla*, em comparação com clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, para os materiais genéticos estudados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.20-25, 1999.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**: a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plat nutrition. Pietermaritzburg, South Africa, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).

BLACK, C. A. **Soil fertility evaluation and control**. Iowa state University: Lewis Publiser, 1993. 746p.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, p.769-850, 2007.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional da minicepas com o número de miniestacas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.36, n.79, p.203-213, 2008.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.591-599, 2009a.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F. de; LEITE, F. P. Influência do estado nutricional de minicepas no enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.607-615, 2009b.

DIAS, J. R.; PEREZ, D. V.; SILVA, L. M. da; LEMOS, C. de O.; WADT, P. G. S. Normas DRIS pra cupuaçuzeiro cultivado em monocultivo e em sistemas agroflorestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, n. 1, p.64-71, 2010.

ELWALI, A. M. O.; GASCHO, G. J. Soil testing foliar analysis and DRIS as guides for sugarcane fertilization. **Agronomy Journal**, v.76, p.466-470, 1984.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1997. 212p.

GALÍNDEZ, A. A. S.; CRUZ, J. G.; ZÉREGA, L.; RODRÍGUEZ, O. A. R.; OLIVEIRA, S. A. de; PÉREZ, V. de J. R. Normas prelimiares DRIS desarrolladas para caña de azúcar a partir de um baixo número de muestras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.12, p.1700-1706, 2009.

JONES, C.A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) for interpreting plant analysis. **Communication Soil Science Plant Anal.**, v.22, p.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, 1961. p.28-43.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 191f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MOURÃO FILHO, F. A. A. DRIS: concepts and applications on nutritional diagnosis in fruit crops. **Scientia Agrícola**, v.61, n.5, p.550-560, 2004.

REIS JÚNIOR, R. dos; CORRÊA, J. B.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: normas DRIS e teores foliares adequados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n.3, p.801-808, 2002.

REIS JÚNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. DRIS norms validation for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 3, p.379-385, 2003.

ROCHA, A. C. da; LEANDRO, W. M.; ROCHA, A. O.; SANTAN, J. das G.; ANDRADE, J. W. de S. Normas DRIS para a cultura do milho semeado em espaçamento reduzido na região de Hidrolândia, GO, Brasil. **Bioscience Journal**, v.23, n.4, p.50-60, 2007.

ROCHA, J. B. de O. **Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2008. 52f.Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SANTANA, J. das G.; LEANDRO, W. M.; NAVES, R. V.; CUNHA, P. P. da Normas DRIS para interpretação de análises de folha e solo, em laranjeira pêra, na região central de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.38, n.2, p.109-117, 2008.

SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Desenvolvimento de normas DRIS e CND e avaliação dos estado nutricional da cultura do algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.97-104, 2010.

SILVA, J. T. A. da; CARVALHO, J. G. de Estabelecimento de normas DRIS para bananeira prata anã (AAB) sob irrigação. **Ciência Agrotecnologia**, v.30, n.1, p.43-51, 2006.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V. H. & LEITE, F. P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. **Sientia Agrícola**, v.61, n.5, p.507-515, 2004.

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**, v.29, p.755-761, 2005.

SILVA, M. A. C. da MATALE, W.; MALHEIROS E. B.; PAVINATO, A. Estabelecimento e validação de normas DRIS para a cultura do algodão no centro-oeste do Brasil. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 33, n.1, p.93-99, 2009.

URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Avaliação do estado nutricional da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.9, p.1421-1428, 2006.

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**. 1996. 123f. Doutorado (Tese em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvore de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 661-666, 1998a.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtido pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p. 685-692, 1998b.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; DIAS, L. E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.10, p.1797-1803, 1999.

WADT, P. G. S. Nutritional status of *Eucalyptus grandis* clones evaluated by critical level and DRIS methods. **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.15-20, 2004.

MÉTODOS DE DIAGNOSE NUTRICIONAL DE MINICEPAS DE EUCALIPTO NA DETERMINAÇÃO DE FAIXAS DE SUFICIÊNCIA

RESUMO – Os métodos de diagnose do estado nutricional de plantas tem sido promissores na determinação de valores de referência para nutrientes em tecidos vegetais. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar valores de referência (teores e faixas de suficiência) de nutrientes em minicepas de clones de eucalipto através de dois métodos: Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação e Índices Balanceados de Kenworthy, a partir de monitoramento nutricional de viveiro. Os teores ótimos e as faixas de suficiência dos nutrientes foram estimados por meio do ajuste de modelos estatísticos ao relacionamento entre os índices calculados pelos dois métodos, e os teores foliares de nutrientes na subpopulação de alta produtividade. Os teores ótimos de nutrientes foram idênticos ao teor médio da população de alta produtividade, independente do método e clone analisado. Os teores e faixas de suficiência estimados apresentaram pequena diferença entre métodos e clones, para a maioria dos nutrientes. Os métodos DRIS e KW mostraram-se promissores para a calibração de teores ótimos e faixas de suficiência para minicepas de eucalipto, a partir de dados provenientes de monitoramento nutricional de viveiro comercial. Normas gerais podem ser usadas para estimar as faixas de suficiência dos teores foliares em minicepas de eucalipto.

Palavras-chave: diagnose foliar, métodos de diagnose, DRIS, Kenworthy, *Eucalyptus* spp.

DIAGNOSIS OF THE NUTRITIONAL STATE IN THE DETERMINATION OF THE REFERENCE VALUES IN MINISTUMPS OF EUCALYPT

ABSTRACT – The methods of diagnosis of the nutritional state of plants have been promising in the determination of reference values for nutrients in the plant tissues. Thus, the objective of this work was to determine the reference values (contents and sufficiency bands) of nutrients in ministumps of eucalypt clones using two methods: Integrated System of Diagnosis and Recommendation (DRIS), and Balanced Index of Kenworthy (KW), from the nutritional monitoring in the nursery. The optimal contents and the sufficiency bands of the nutrients were estimated by means of the adjustment of statistical models to the relation between the indexes calculated by two methods and the leaf contents of nutrients in the subpopulation of high productivity. The optimal

contents of nutrients were identical to the average content of the population with high productivity, independently of the method used and clone analysed. The contents and sufficiency bands estimated showed small difference between methods and clones, for the majority of the nutrients. The method DRIS and KW showed to be promising for the calibration of the optimal contents and sufficiency bands for ministumps of eucalypt, from data originating from the nutritional monitoring of commercial nursery. General norms can be used to estimate the sufficiency bands of the leaf contents in the ministumps of eucalypt.

Key-words: leaf diagnosis; methods of diagnosis, DRIS, Kenworthy, *Eucalyptus* spp.

INTRODUÇÃO

Tradicionalmente, a avaliação do estado nutricional das plantas tem sido baseada nos níveis críticos. Estes, normalmente, são estabelecidos a partir de experimentos, em que se variam as doses de um nutriente e os demais fatores de produção, nutricionais ou não, são mantidos em níveis não-limitantes. Visando maior confiabilidade na definição das faixas de suficiência para determinada espécie, torna-se necessária a estratificação dos ambientes e condições em que os experimentos são conduzidos, sendo esta estratificação o mais abrangente possível. No entanto, a maioria dos trabalhos não atende a esta premissa, tornando as faixas de suficiência válidas apenas para uma pequena amplitude de condições em que os fatores de produção foram considerados nos trabalhos de calibração.

No caso das brotações de minicepas de eucalipto cultivadas em minijardim clonal, as faixas de suficiência adotadas consistem nas faixas estabelecidas por Higashi et al. (2004) e em alguns casos esses valores são definidos com subjetividade, tomando-se como base a experiência do pesquisador, o que aumenta o grau de insegurança. Como os minijardins clonais vêm passando por constantes alterações, principalmente no que diz respeito ao manejo das soluções nutritivas, e considerando que as recomendações variam com a região e o viveiro clonal onde são cultivadas as minicepas, pode-se supor que alterações às faixas de suficiência propostas pelos referidos autores sejam necessárias. Além disso, tem-se observado, para minicepas de eucalipto, resposta genótipo-dependente em relação à nutrição mineral (Cunha et al., 2008, 2009a e 2009b).

Como alternativa aos experimentos clássicos de calibração, tem-se utilizado, visando melhorar a definição e interpretação do estado nutricional das plantas, métodos de diagnose, tais como: Sistema Integrado de Diagnose e recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973) e Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) (Kenworthy, 1961), buscando estimar teores ótimos e faixas de suficiência, por meio de abordagens distintas.

Para estabelecer o teor ótimo a partir do método DRIS, efetua-se o relacionamento do teor foliar com o respectivo índice do nutriente ou vice-versa, tomando-se como base o fato de que o teor ótimo corresponde ao valor índice que representa o equilíbrio nutricional, ou seja, zero. Assim, modelos estatísticos têm sido ajustados visando descrever o relacionamento entre índices DRIS e teores de nutrientes no tecido vegetal em diversas espécies como eucalipto (Wadt et al., 1998a), café (Reis Jr. et al., 2002; Farnezi et al., 2009), cana-de-açúcar (Reis Jr e Monnerat, 2003), algodão

(Serra et al., 2010) e soja (Urano et al., 2007), buscando aprimorar a interpretação de teores de nutrientes em tecidos vegetais.

Apesar de um valor de índice DRIS igual a zero ser considerado ótimo, erros experimentais e limitações decorrentes do tamanho da amostra, causam redução na confiabilidade da estimativa pontual do estado nutricional ótimo (Hartz et al., 1998). Assim, esses autores sugerem a adoção de faixas de suficiência para avaliar os índices nutricionais, sendo estas obtidas pela definição de uma amplitude de desvios-padrão em torno do valor ideal (Faixa de Beaufiles).

O método proposto por Kenworthy (1961), que avalia o balanço nutricional, permite avaliar o estado nutricional por meio da porcentagem de desvio da concentração de 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 (Cantarutti et al., 2007). Este método permite a determinação de uma faixa de suficiência (correspondente ao intervalo de 83 a 117%, de acordo com o valor obtido para o índice balanceado) e teor ótimo (mediana da faixa de suficiência, ou seja, índice balanceado igual a 100%) sem a necessidade de instalação e condução de uma vasta rede de experimentos de adubação.

Na literatura evidencia-se a inexistência de trabalhos que forneçam valores de referência obtidos pelos métodos DRIS e índices balanceados de Kenworthy, visando a obtenção de faixas de suficiência e teores ótimos para minicepas de eucalipto em condição de minijardim clonal. A obtenção dessas faixas é importante, pois torna prático o manejo dos minijardins clonais, possibilitando diagnosticar, com facilidade, eventuais excessos ou deficiências e conseqüentemente, a realização dos ajustes necessários.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi determinar as faixas de suficiência (teores ótimos e faixas de suficiência) de nutrientes em minicepas de clones de eucalipto por meio de dois métodos: DRIS e índices balanceados de Kenworthy.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas informações do banco de dados do viveiro da Celulose Nipo Brasileira S. A. (CENIBRA), localizado no Município de Belo Oriente – MG, no período de 2003 a 2009.

O município de Belo Oriente - MG, localiza-se na região do Vale do Rio Doce, com clima do tipo Aw (temperado chuvoso-mesotérmico), segundo a classificação de Köeppen, latitude de 19°18'23" S e longitude 42°22'46" W e altitude média de 363 m. Apresenta precipitação média anual de 1.233 mm. Os dados meteorológicos foram obtidos por meio de estações localizadas no viveiro da empresa no período de 2003 a 2009 (Tabela 1).

Tabela 1: Temperatura (T) máxima, média e mínima, radiação solar (R) e umidade relativa do ar (UR) no período de 2003 a 2009, no município de Belo Oriente – MG.

Mês	T máx. (°C)	T méd. (°C)	T mín. (°C)	R (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	UR (%)
Janeiro	31,4	25,1	21,1	19,5	80,4
Fevereiro	32,2	25,3	20,9	21,6	77,5
Março	31,6	25,1	21,0	19,3	80,0
Abril	30,3	23,9	20,0	16,5	82,2
Mai	28,3	21,3	16,7	14,0	81,8
Junho	27,4	19,8	14,8	13,1	81,4
Julho	27,3	19,3	13,6	14,0	77,1
Agosto	28,8	21,0	15,3	15,9	71,7
Setembro	29,5	22,3	16,8	16,7	69,8
Outubro	31,7	24,8	19,4	18,9	65,6
Novembro	30,5	24,5	20,5	16,9	75,7
Dezembro	30,9	24,7	20,7	19,6	79,5

A partir de um banco de dados, contendo 145 amostras de clones de *Eucalyptus* foram obtidas as normas DRIS e Kenworthy para minicepas. As condições de manejo e o material amostrado foram semelhantes para todas as amostras, diferindo somente o material genético.

Para a obtenção destas normas utilizaram-se os dados de performance (% de enraizamento e produção de miniestacas provenientes das minicepas) (Tabela 2) e teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B das minicepas de *Eucalyptus* cultivadas em minijardim clonal em leito de areia, com teto translúcido retrátil, com fertirrigação por gotejamento, conforme descrito em Cunha et al. (2009b). Na amostragem dos tecidos foliares obedeceu-se às seguintes orientações: foram coletadas folhas (sem pecíolo) totalmente expandidas no terço médio da minicepa em fase de produção; evitou-se coletar folhas de minicepas recém colhidas; as folhas foram lavadas com água destilada antes de serem processadas para análise. Foram coletadas duas amostras compostas para

cada clone, em cada oportunidade, sendo que em cada amostra foram utilizadas dez minicepas. A frequência da coleta de amostras foi mensal nos anos de 2003 e 2004, e bimensal a partir de 2005.

Tabela 2: Porcentagem média de enraizamento e número médio de miniestacas produzidas pelas minicepas de clones de eucalipto utilizados na população de referência para geração das normas para os métodos IKW e DRIS, de acordo com o clone.

Clone	População de referência	
	Enraizamento (%)	Número de miniestacas
C1	89,5	7,6
C2	91,4	6,9
C3	86,6	9,9
C4	89,2	9,2

Após lavagem, as amostras foram colocadas em estufa para secagem a $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até peso constante, sendo em seguida moídas. Foram feitas análises, determinando-se Ca, Mg, K, P, S, Zn, Cu, Fe e Mn em extrato nitro-perclórico; N em extrato sulfúrico; e B em extrato de ácido clorídrico, após a calcinação, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Os dados de todas as amostras deram origem às populações de interesse de estudo, sendo para tanto: a) estratificadas por clone: C1 (n = 36 amostras), C2 (n = 39 amostras), C3 (n = 36 amostras) e C4 (n = 34 amostras), sendo C1 e C2 clones de *Eucalyptus urophylla* e os outros, clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; b) não estratificadas – abrangendo, assim o conjunto dos clones (CJ), num total de 145 amostras. Este procedimento foi feito para verificar se os teores ótimos e faixas de suficiência são gerais ou específicos por material genético.

Para cada clone calcularam-se a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação da % de enraizamento e do número de miniestacas produzidas pelas minicepas. A seguir fez-se a subdivisão da população em amostras de baixa e alta produtividade, sendo esta última a população de referência, definida como sendo maior que a média. Quando as 145 amostras foram consideradas em conjunto, a população de referência foi constituída pelas amostras classificadas como de alta produtividade para os clones considerados.

As normas, todas referentes à população de referência, consistiram em: média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos teores dos nutrientes e de todas as relações duais (direta e inversa) entre os nutrientes considerados. Assim, foram obtidas 110 relações, metade relações diretas e metade inversas.

Para o cálculo dos índices balanceados de Kenworthy (Kenworthy, 1961), considerou-se o coeficiente de variação (CV) do teor médio do nutriente da população de referência. Quando o teor do nutriente da amostra (y_i) é menor que o da norma (\bar{Y}), o CV é adicionado, e quando o teor da amostra é maior, o CV é diminuído. A partir da população de referência, foram calculados os

índices-padrão (P, I e B, todos expressos em porcentagem), segundo o método ajustado por Alvarez V. (1999), a partir de Kenworthy (1973) (Kurihara, 2004).

$$P = 100 y_i/\bar{Y}, \quad I = CV(y_i - \bar{Y})/\bar{Y} \quad \text{e} \quad B = P - I$$

Onde: 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 do nutriente na população de referência; e B - índice balanceado de Kenworthy.

De acordo com o valor obtido para o Índice Balanceado de Kenworthy, os resultados foram interpretados da seguinte forma, classe 1 - deficiente (< 50%); classe 2 - tendente a suficiente (50 a 83%); classe 3 - suficiente (83 a 100%); classe 4 - alta (100 a 117%); classe 5 - tendente a excessiva (117 a 150%); e classe 6 - excessiva (> 150%).

Para o DRIS, a partir da população de referência, foram estabelecidas as relações entre o teor de um dado nutriente e os teores dos demais nutrientes, sendo estas transformadas em variáveis normais reduzidas (Z), utilizando-se um fator de ajuste $c = 1$, conforme sugerido por Wadt et al. (1998b). Pelo cálculo da média aritmética das relações diretas e inversas, transformadas em variáveis normais reduzidas, foi definido o Índice DRIS, de acordo com Alvarez V. e Leite (1999):

$$Z(A/B) = [(A/B) - (a/b)]/s \quad \text{e} \quad I_A = \frac{Z(A/B) + Z(A/C) + \dots + Z(A/N) - Z(B/A) - Z(C/A) - \dots - Z(N/A)}{2(n-1)}$$

Onde: A/B e a/b - relação dual entre os teores dos nutrientes da população sob diagnose (A e B) e na população de referência (a e b); s - desvio-padrão da relação dual da população de referência; I_A - índice DRIS do nutriente; e n - número de nutrientes envolvidos na análise.

Estes procedimentos foram utilizados para cálculo dos índices de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B. Os valores numéricos dos índices DRIS, considerando o sinal positivo ou negativo, indicam a direção e a magnitude do afastamento ao ponto ótimo (índice DRIS igual a zero), expresso em unidades de desvio-padrão. Estes índices foram agrupados em cinco classes, com base no conceito de faixas de Beaufiglioli: classe 1 – deficiente (<-4/3 s); classe 2- tendente a suficiente (-4/3 a -2/3 s); classe 3 – suficiente (-2/3 a 0 s); classe 4 – alta (0 a 2/3 s); classe 5 – tendente a excessiva (2/3 a 4/3 s); e classe 6 – excessiva (>4/3 s).

Como valores nulos dos índices DRIS caracterizam uma condição de equilíbrio nutricional, uma vez que os valores dos índices refletem aos valores de referência, estimaram-se os teores ótimos de nutrientes por meio do ajuste de modelos estatísticos ao relacionamento entre índices DRIS e teores foliares de nutrientes na subpopulação de alta produtividade. Procedimento semelhante foi realizado para a obtenção de teores ótimos pelo método de Kenworthy. Dessa forma, os teores de nutrientes associados a valores de índices DRIS nulos ou valores de índices balanceados igual a 100% corresponderam aos teores ótimos estimados. O limite inferior e superior

dos Índices Balanceados de Kenworthy e DRIS das faixas suficiente e alta, respectivamente, foram utilizados para a definição da amplitude das faixas de suficiência de nutrientes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições de manejo, material amostrado, época de amostragem e idade dos tecidos foram semelhantes em todas as amostras, diferindo somente o material genético usado. Esta similaridade de condições permitiu verificar se existem diferenças pelo menos em relação ao material genético. Além disso, o período de coleta das amostras foi relativamente extenso, sete anos, o que permitem contemplar a variabilidade ocasionada pela utilização de amostras em diferentes estações climáticas.

Todos os modelos estatísticos ajustados aos relacionamentos entre índices IKW e DRIS e os teores de nutrientes em minicepas de clones de eucalipto apresentaram significância estatística ($p < 0,05$), com coeficientes de determinação igual a um para o método IKW e variando entre 0,24 e 0,97 para o DRIS (Tabelas 3 e 4). No caso do DRIS, os menores coeficientes de determinação foram obtidos para N e P. Isto pode ser reflexo da pequena variação dos índices DRIS para esses nutrientes, com índices mais próximos de zero, ou seja, do equilíbrio nutricional. Além disso, baixos valores de coeficientes de determinação podem ser indicativo da menor dependência do índice DRIS do nutriente em relação à sua concentração foliar, demonstrando maior dependência das concentrações dos demais nutrientes que compõem o índice DRIS, ou seja, para tais nutrientes a influência do balanço nutricional na formação do índice DRIS é maior, em relação aos demais (Guindani et al., 2009).

As curvaturas observadas na dispersão de pontos, quando se relaciona índice DRIS em função de teor foliar ou vice-versa, de modo geral, resultam em melhor ajuste de modelo exponencial ou quadrático, no entanto, isto parece ser decorrente de desvios de simetria na distribuição das relações duais (Kurihara, 2004).

Tabela 3: Equações ajustadas para os teores de macronutrientes (g kg^{-1}) em função dos índices balanceados de Kenworthy (IKW)¹ e índices DRIS², em minicepas de clones de eucalipto, mediante normas específicas por clone e normas gerais para o conjunto dos clones (CJ), município de Belo Oriente – MG, em subpopulação de alta produtividade³.

Nutriente	Material genético	IKW		DRIS	
		Equação	R ²	Equação	R ²
N	C1 (n=17)	$\hat{N} = -4,041 + 0,464 **I_N$	0,99	$\hat{N} = 42,350 + 2,002 **I_N$	0,31
	C2 (n=21)	$\hat{N} = -4,312 + 0,444 **I_N$	0,99	$\hat{N} = 40,096 + 4,054 **I_N$	0,28
	C3 (n=18)	$\hat{N} = -3,475 + 0,457 **I_N$	0,99	$\hat{N} = 42,185 - 0,584 **I_N$	0,61
	C4 (n=16)	$\hat{N} = -2,981 + 0,450 **I_N$	0,99	$\hat{N} = 42,045 - 0,759 **I_N$	0,24
	CJ (n=72)	$\hat{N} = -3,843 + 0,454 **I_N$	0,99	$\hat{N} = 41,584 + 0,269 **I_N$	0,26
P	C1 (n=17)	$\hat{P} = -0,433 + 0,044 **I_P$	0,99	$\hat{P} = 3,935 + 0,385 **I_P$	0,48
	C2 (n=21)	$\hat{P} = -0,468 + 0,045 **I_P$	0,99	$\hat{P} = 4,007 + 0,430 **I_P$	0,45
	C3 (n=18)	$\hat{P} = -0,624 + 0,048 **I_P$	0,99	$\hat{P} = 4,187 + 0,651 **I_P$	0,53
	C4 (n=16)	$\hat{P} = -0,450 + 0,046 **I_P$	0,99	$\hat{P} = 4,162 + 0,229 **I_P$	0,25
	CJ (n=72)	$\hat{P} = -0,503 + 0,046 **I_P$	0,99	$\hat{P} = 4,069 + 0,413 **I_P$	0,43
K	C1 (n=17)	$\hat{K} = -4,314 + 0,259 **I_K$	0,99	$\hat{K} = 21,598 + 4,438 **I_K$	0,82
	C2 (n=21)	$\hat{K} = -4,588 + 0,266 **I_K$	0,99	$\hat{K} = 21,984 + 5,777 **I_K$	0,83
	C3 (n=18)	$\hat{K} = -5,109 + 0,290 **I_K$	0,99	$\hat{K} = 23,874 + 5,556 **I_K$	0,74
	C4 (n=16)	$\hat{K} = -5,286 + 0,295 **I_K$	0,99	$\hat{K} = 24,257 + 4,854 **I_K$	0,76
	CJ (n=72)	$\hat{K} = -4,939 + 0,278 **I_K$	0,99	$\hat{K} = 22,870 + 5,133 **I_K$	0,76
Ca	C1 (n=17)	$\hat{Ca} = -1,881 + 0,093 **I_{Ca}$	0,99	$\hat{Ca} = 7,401 + 1,954 **I_{Ca}$	0,85
	C2 (n=21)	$\hat{Ca} = -1,232 + 0,068 **I_{Ca}$	0,99	$\hat{Ca} = 5,585 + 1,362 **I_{Ca}$	0,83
	C3 (n=18)	$\hat{Ca} = -1,954 + 0,082 **I_{Ca}$	0,99	$\hat{Ca} = 6,262 + 1,931 **I_{Ca}$	0,85
	C4 (n=16)	$\hat{Ca} = -1,501 + 0,075 **I_{Ca}$	0,99	$\hat{Ca} = 5,989 + 1,501 **I_{Ca}$	0,77
	CJ (n=72)	$\hat{Ca} = -1,876 + 0,081 **I_{Ca}$	0,99	$\hat{Ca} = 6,273 + 1,923 **I_{Ca}$	0,82
Mg	C1 (n=17)	$\hat{Mg} = -1,042 + 0,049 **I_{Mg}$	0,99	$\hat{Mg} = 3,849 + 1,654 **I_{Mg}$	0,74
	C2 (n=21)	$\hat{Mg} = -0,825 + 0,045 **I_{Mg}$	0,99	$\hat{Mg} = 3,670 + 1,277 **I_{Mg}$	0,72
	C3 (n=18)	$\hat{Mg} = -0,978 + 0,048 **I_{Mg}$	0,99	$\hat{Mg} = 3,853 + 1,584 **I_{Mg}$	0,67
	C4 (n=16)	$\hat{Mg} = -1,022 + 0,048 **I_{Mg}$	0,99	$\hat{Mg} = 3,755 + 1,325 **I_{Mg}$	0,68
	CJ (n=72)	$\hat{Mg} = -0,940 + 0,047 **I_{Mg}$	0,99	$\hat{Mg} = 3,777 + 1,394 **I_{Mg}$	0,68
S	C1 (n=17)	$\hat{S} = -1,269 + 0,032 **I_S$	0,99	$\hat{S} = 1,883 + 1,605 **I_S$	0,85
	C2 (n=21)	$\hat{S} = -1,366 + 0,031 **I_S$	0,99	$\hat{S} = 1,752 + 1,639 **I_S$	0,86
	C3 (n=18)	$\hat{S} = -1,760 + 0,038 **I_S$	0,99	$\hat{S} = 2,034 + 2,116 **I_S$	0,91
	C4 (n=16)	$\hat{S} = -2,261 + 0,041 **I_S$	0,99	$\hat{S} = 1,804 + 1,729 **I_S$	0,74
	CJ (n=72)	$\hat{S} = -1,589 + 0,035 **I_S$	0,99	$\hat{S} = 1,865 + 1,742 **I_S$	0,83

¹Índice balanceado de Kenworthy calculado conforme Kenworthy (1961) ²Índice DRIS calculado conforme Alvarez V. e Leite (1999), utilizando um fator de ajuste c=1, Wadt et al. (1998b); ³≥que a média. **indica p<0,05.

Tabela 4: Equações ajustadas para os teores de micronutrientes (mg kg⁻¹) em função dos índices balanceados de Kenworthy (IKW)¹ e índices DRIS², em minicepas de clones de eucalipto, mediante normas específicas por clone e normas gerais para o conjunto dos clones (CJ), município de Belo Oriente – MG, em subpopulação de alta produtividade³.

Nutriente	Material genético	IKW		DRIS	
		Equação	R ²	Equação	R ²
Zn	C1 (n=17)	$\hat{Zn} = -14,259 + 0,569 ** I_{Zn}$	0,99	$\hat{Zn} = 42,639 + 22,355 ** I_{Zn}$	0,79
	C2 (n=21)	$\hat{Zn} = -12,799 + 0,574 ** I_{Zn}$	0,99	$\hat{Zn} = 44,567 + 21,838 ** I_{Zn}$	0,74
	C3 (n=18)	$\hat{Zn} = -17,271 + 0,582 ** I_{Zn}$	0,99	$\hat{Zn} = 40,904 + 21,828 ** I_{Zn}$	0,73
	C4 (n=16)	$\hat{Zn} = -13,002 + 0,565 ** I_{Zn}$	0,99	$\hat{Zn} = 43,480 + 18,254 ** I_{Zn}$	0,70
	CJ (n=72)	$\hat{Zn} = -14,035 + 0,570 ** I_{Zn}$	0,99	$\hat{Zn} = 42,955 + 20,307 ** I_{Zn}$	0,72
Cu	C1 (n=17)	$\hat{Cu} = -4,332 + 0,198 ** I_{Cu}$	0,99	$\hat{Cu} = 15,421 + 5,273 ** I_{Cu}$	0,88
	C2 (n=21)	$\hat{Cu} = -3,686 + 0,136 ** I_{Cu}$	0,99	$\hat{Cu} = 9,828 + 4,287 ** I_{Cu}$	0,91
	C3 (n=18)	$\hat{Cu} = -19,756 + 0,384 ** I_{Cu}$	0,99	$\hat{Cu} = 18,625 + 13,969 ** I_{Cu}$	0,95
	C4 (n=16)	$\hat{Cu} = -3,164 + 0,163 ** I_{Cu}$	0,99	$\hat{Cu} = 13,116 + 3,748 ** I_{Cu}$	0,84
	CJ (n=72)	$\hat{Cu} = -15,963 + 0,301 ** I_{Cu}$	0,99	$\hat{Cu} = 14,107 + 10,401 ** I_{Cu}$	0,92
Fe	C1 (n=17)	$\hat{Fe} = -57,663 + 1,581 ** I_{Fe}$	0,99	$\hat{Fe} = 100,447 + 51,466 ** I_{Fe}$	0,97
	C2 (n=21)	$\hat{Fe} = -60,179 + 1,444 ** I_{Fe}$	0,99	$\hat{Fe} = 84,172 + 51,705 ** I_{Fe}$	0,97
	C3 (n=18)	$\hat{Fe} = -66,280 + 1,631 ** I_{Fe}$	0,99	$\hat{Fe} = 96,852 + 55,348 ** I_{Fe}$	0,96
	C4 (n=16)	$\hat{Fe} = -61,952 + 1,613 ** I_{Fe}$	0,99	$\hat{Fe} = 99,338 + 52,405 ** I_{Fe}$	0,97
	CJ (n=72)	$\hat{Fe} = -60,990 + 1,555 ** I_{Fe}$	0,99	$\hat{Fe} = 94,555 + 52,802 ** I_{Fe}$	0,95
Mn	C1 (n=17)	$\hat{Mn} = -742,910 + 15,617 ** I_{Mn}$	0,99	$\hat{Mn} = 818,806 + 507,630 ** I_{Mn}$	0,96
	C2 (n=21)	$\hat{Mn} = -269,436 + 7,858 ** I_{Mn}$	0,99	$\hat{Mn} = 516,323 + 243,823 ** I_{Mn}$	0,93
	C3 (n=18)	$\hat{Mn} = -341,614 + 9,260 ** I_{Mn}$	0,99	$\hat{Mn} = 584,422 + 303,545 ** I_{Mn}$	0,95
	C4 (n=16)	$\hat{Mn} = -522,382 + 12,039 ** I_{Mn}$	0,99	$\hat{Mn} = 681,541 + 382,083 ** I_{Mn}$	0,96
	CJ (n=72)	$\hat{Mn} = -540,100 + 11,816 ** I_{Mn}$	0,99	$\hat{Mn} = 641,483 + 395,371 ** I_{Mn}$	0,95
B	C1 (n=17)	$\hat{B} = -17,998 + 0,691 ** I_B$	0,99	$\hat{B} = 51,079 + 19,032 ** I_B$	0,91
	C2 (n=21)	$\hat{B} = -18,045 + 0,693 ** I_B$	0,99	$\hat{B} = 51,203 + 17,954 ** I_B$	0,85
	C3 (n=18)	$\hat{B} = -23,992 + 0,750 ** I_B$	0,99	$\hat{B} = 50,956 + 24,367 ** I_B$	0,94
	C4 (n=16)	$\hat{B} = -17,895 + 0,698 ** I_B$	0,99	$\hat{B} = 51,869 + 19,147 ** I_B$	0,89
	CJ (n=72)	$\hat{B} = -18,940 + 0,702 ** I_B$	0,99	$\hat{B} = 51,260 + 20,296 ** I_B$	0,88

¹Índice balanceado de Kenworthy calculado conforme Kenworthy (1961) ²Índice DRIS calculado conforme Alvarez V. e Leite (1999), utilizando um fator de ajuste c=1, Wadt et al. (1998b); ³≥que a média. **indica p<0,05.

Alguns autores propõem outros procedimentos para a determinação do teor ótimo de nutrientes a partir do método DRIS (Needham et al., 1990; Wadt et al., 1995). No entanto, resultados obtidos por Wadt et al. (1998a) demonstraram grande semelhança entre os valores estimados por este procedimento em relação ao método gráfico, em que o teor é relacionado em função do índice DRIS.

Em todos os nutrientes e clones avaliados, o teor ótimo estimado correspondeu ao teor médio na subpopulação de alta produtividade (população de referência) (Tabelas 5 e 6), confirmando a distribuição normal das relações duais na população de alta produtividade, uma vez

Tabela 5: Valores estabelecidos para minicepas de eucalipto, teor ótimo e faixa normal (que agrega as faixas suficiente e alta) estimados pelos métodos Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) e DRIS a partir de normas específicas por clone e normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG.

Nutriente	Faixa de suficiência		Método	C1 (n=17)		C2 (n=21)		C3 (n=18)		C4(n=16)		Conjunto dos clones (n=72)	
				Teor ótimo	Faixa normal	Teor ótimo	Faixa normal	Teor ótimo	Faixa normal	Teor ótimo	Faixa normal	Teor ótimo	Faixa normal
-----g kg ⁻¹ -----													
N	28,0 a 40,0 ¹	30,0 a 40,0 ²	IKW ³	42,4	34,5 a 50,2	40,1	32,5 a 47,6	42,2	34,5 a 50,0	42,0	34,4 a 49,7	41,6	33,8 a 49,3
			DRIS ⁴	42,4	41,0 a 43,7	40,1	37,4 a 42,8	42,2	41,8 a 42,6	42,0	41,5 a 42,6	41,6	41,4 a 41,8
P	2,5 a 4,0	3,0 a 4,0	IKW	3,9	3,2 a 4,7	4,0	3,3 a 4,8	4,2	3,4 a 5,0	4,2	3,4 a 4,9	4,1	3,3 a 4,9
			DRIS	3,9	3,7 a 4,2	4,0	3,7 a 4,3	4,2	3,8 a 4,6	4,2	4,0 a 4,3	4,1	3,8 a 4,3
K	15,0 a 30,0	18,0 a 25,0	IKW	21,6	17,2 a 26,0	22,0	17,5 a 26,5	23,9	19,0 a 28,8	24,2	19,2 a 29,2	22,9	18,1 a 27,6
			DRIS	21,6	18,6 a 24,6	22,0	18,1 a 25,9	23,9	20,2 a 27,6	24,2	21,0 a 27,5	22,9	19,4 a 26,3
Ca	5,0 a 7,0	8,0 a 12,0	IKW	7,4	5,8 a 9,0	5,6	4,4 a 6,7	6,3	4,9 a 7,6	6,0	4,7 a 7,3	6,2	4,8 a 7,6
			DRIS	7,4	6,1 a 8,7	5,6	4,7 a 6,5	6,3	5,0 a 7,6	6,0	5,0 a 7,0	6,2	5,0 a 7,5
Mg	2,0 a 3,0	2,5 a 4,0	IKW	3,9	3,0 a 4,7	3,7	2,9 a 4,4	3,8	3,0 a 4,6	3,8	3,0 a 4,6	3,8	3,0 a 4,6
			DRIS	3,9	2,7 a 5,0	3,7	2,8 a 4,5	3,8	2,8 a 4,9	3,8	2,9 a 4,6	3,8	2,8 a 4,7
S	2,0 a 2,5	2,0 a 3,5	IKW	1,9	1,4 a 2,5	1,7	1,2 a 2,3	2,0	1,4 a 2,7	1,8	1,1 a 2,5	1,9	1,3 a 2,5
			DRIS	1,9	0,8 a 3,0	1,7	0,7 a 2,8	2,0	0,6 a 3,4	1,8	0,6 a 3,0	1,9	0,7 a 3,0
-----mg kg ⁻¹ -----													
Zn	30,0 a 60,0	35 a 55	IKW	42,6	33,0 a 52,3	44,6	34,8 a 54,4	40,9	31,0 a 50,8	43,5	33,9 a 53,1	43,0	33,3 a 52,7
			DRIS	42,6	27,7 a 57,6	44,6	29,9 a 59,2	40,9	26,3 a 55,5	43,5	31,2 a 55,7	43,0	29,3 a 56,6
Cu	8,0 a 15,0	10 a 16	IKW	15,5	12,1 a 18,8	9,9	7,6 a 12,2	18,6	12,1 a 25,2	13,1	10,4 a 15,9	14,1	9,0 a 19,3
			DRIS	15,5	11,9 a 19,0	9,9	7,0 a 12,7	18,6	9,3 a 28,0	13,1	10,6 a 15,6	14,1	7,1 a 21,1
Fe	100,0 a 220,0	180 a 300	IKW	100,4	73,6 a 127,3	84,2	59,7 a 108,8	96,8	69,1 a 124,5	99,3	71,9 a 126,8	94,5	68,1 a 120,9
			DRIS	100,4	64,0 a 136,9	84,2	49,5 a 118,8	96,8	59,8 a 133,9	99,3	64,2 a 134,4	94,5	59,2 a 129,9
Mn	250,0 a 500,0	600 a 1200	IKW	818,8	553,3 a 1084,3	516,4	382,8 a 650,0	584,4	427,0 a 741,8	681,5	476,9 a 886,2	641,5	440,6 a 842,4
			DRIS	818,8	478,7 a 1158,9	516,4	353,0 a 679,7	584,4	381,0 a 787,8	681,5	425,5 a 937,4	641,5	376,6 a 906,4
B	35,0 a 70,0	45 a 65	IKW	51,1	39,4 a 62,8	51,2	39,3 a 63,0	51,0	38,3 a 63,8	51,9	40,0 a 63,8	51,3	39,3 a 63,2
			DRIS	51,1	38,3 a 63,8	51,2	39,2 a 63,2	51,0	34,6 a 67,3	51,9	39,0 a 64,7	51,3	37,7 a 64,9

¹Nível de suficiência, conforme Higashi et al. (2004); ²Nível de suficiência adotado pela Empresa CENIBRA, informação pessoal pesquisador Fernando Palha Leite; Teor e faixa de suficiência estimados: ³para um índice balanceado (calculado conforme Kenworthy, 1961) igual a 100% e os limites inferior e superior das faixas suficiente e alta (83 e 117%), respectivamente; ⁴para um índice DRIS (calculado conforme Alvarez V. & Leite, 1999), utilizando um fator de ajuste c=1, conforme Wadt et al. (1998b) igual a zero ± 2/3 s, respectivamente.

Tabela 6: Valores mínimos, máximos, médios e desvios-padrão (s) para os teores de nutrientes em folhas de minicepas de eucaliptos, em amostras coletadas por clone e para o conjunto dos clones, em subpopulações de alta e baixa produtividade¹, no município de Belo Oriente – MG.

Nutriente	Material genético	Alta produtividade				Baixa produtividade			
		Mínimo	Máximo	Média	s	Mínimo	Máximo	Média	s
-----g kg ⁻¹ -----									
N	C1	37,2	49,8	42,4	3,7	37,6	49,1	42,8	2,9
	C2	33,3	45,2	40,1	3,9	36,3	47,5	41,0	3,2
	C3	35,1	47,0	42,2	3,2	37,2	47,4	42,1	3,1
	C4	37,8	47,1	42,0	2,8	36,4	48,3	42,3	3,0
	CJ	33,3	49,8	41,6	3,5	36,3	49,1	42,2	3,1
P	C1	3,3	4,5	3,9	0,4	3,5	5,5	4,2	0,5
	C2	3,3	4,9	4,0	0,4	3,2	6,1	4,1	0,7
	C3	3,6	5,7	4,2	0,5	3,4	4,7	4,1	0,3
	C4	3,5	4,8	4,2	0,4	2,8	4,9	4,1	0,5
	CJ	3,3	5,7	4,1	0,4	2,8	6,1	4,1	0,6
K	C1	14,1	26,2	21,6	3,6	19,1	30,0	22,7	2,8
	C2	12,3	27,2	22,0	3,8	19,2	29,8	23,5	2,8
	C3	14,6	31,5	23,9	4,2	19,2	31,0	24,4	2,9
	C4	16,8	30,4	24,2	4,3	18,5	32,1	25,0	3,7
	CJ	12,3	31,5	22,9	4,1	18,5	32,1	24,0	3,3
Ca	C1	4,9	10,3	7,4	1,5	5,4	13,8	8,0	2,2
	C2	4,0	7,7	5,6	1,0	3,9	8,6	5,5	1,3
	C3	4,1	10,1	6,3	1,5	4,1	8,9	6,2	1,4
	C4	3,9	9,0	6,0	1,2	4,7	10,5	6,7	1,5
	CJ	3,9	10,3	6,2	1,4	4,1	13,8	6,7	1,9
Mg	C1	2,8	5,7	3,9	0,8	2,7	5,6	3,7	0,7
	C2	2,6	5,6	3,7	0,7	2,1	5,9	3,6	0,9
	C3	2,9	5,7	3,8	0,8	2,5	4,8	3,6	0,6
	C4	2,8	5,9	3,8	0,8	2,3	5,4	3,4	0,8
	CJ	2,6	5,9	3,8	0,8	2,1	5,9	3,6	0,8
S	C1	0,6	3,5	1,9	0,8	0,5	5,5	2,6	1,2
	C2	0,6	3,2	1,7	0,8	0,5	2,5	1,7	0,4
	C3	0,6	3,9	2,0	0,9	0,5	5,5	2,2	1,1
	C4	0,7	4,9	1,8	1,0	1,0	3,6	2,1	0,7
	CJ	0,6	4,9	1,9	0,9	0,5	5,5	2,2	1,0
-----mg kg ⁻¹ -----									
Zn	C1	27,3	62,5	42,6	10,7	13,4	74,8	42,7	13,1
	C2	26,5	65,7	44,6	9,9	6,6	55,7	40,4	11,0
	C3	14,8	67,6	40,9	12,1	23,8	60,3	40,8	9,2
	C4	28,2	61,8	43,5	10,0	12,8	77,0	42,1	14,3
	CJ	14,8	67,6	43,0	10,6	6,6	77,0	41,5	12,4
Cu	C1	11,0	22,6	15,5	3,4	8,7	52,1	17,9	10,1
	C2	4,5	44,8	9,9	8,2	1,8	36,6	10,5	7,2
	C3	10,9	47,4	18,6	9,6	6,6	19,9	12,9	2,9
	C4	9,9	19,5	13,1	2,5	6,5	46,2	16,8	9,5
	CJ	4,5	47,4	14,1	7,5	1,8	52,1	15,0	8,6
Fe	C1	49,9	178,8	100,4	36,6	65,4	223,0	104,9	48,5
	C2	33,0	165,0	84,2	35,1	51,0	216,5	99,2	42,3
	C3	39,8	183,9	96,8	39,4	56,3	167,8	98,1	34,0
	C4	50,0	192,5	99,3	38,2	71,5	167,0	99,4	25,9
	CJ	33,0	192,5	94,5	37,1	51,0	223,0	101,7	39,5
Mn	C1	264,8	1402,0	818,8	389,5	393,4	1887,5	839,4	430,9
	C2	247,0	850,0	516,4	177,1	312,0	1320,0	680,9	276,3
	C3	302,7	1123,0	584,4	215,6	471,0	1459,4	767,1	297,5
	C4	222,0	1190,0	681,5	295,7	246,5	1847,3	816,9	483,7
	CJ	222,0	1402,0	641,5	293,2	246,5	1887,5	778,1	390,5
B	C1	22,0	76,3	51,1	13,3	23,2	91,9	49,7	14,2
	C2	14,3	84,8	51,2	13,3	36,0	72,7	48,7	10,4
	C3	24,6	80,2	51,0	16,3	9,8	62,0	40,4	11,7
	C4	35,8	78,8	51,9	13,3	26,8	81,0	45,1	15,5
	CJ	14,3	84,8	51,3	13,8	9,8	91,9	46,2	14,0

que, nesta condição, a média aritmética é igual a mediana. Este resultado, segundo Kurihara (2004) era de se esperar e pode ser explicado por deduções matemáticas proposta por Alvarez V. e descritas em Kurihara (2004). Segundo o autor, para um valor de índice igual a 100% o

valor do teor ótimo é a própria média do teor do nutriente na população de alta produtividade. Ainda, populações de alta produtividade apresentam uma condição nutricional equilibrada, não obstante o equilíbrio nutricional não implique em alta produtividade se houver limitação por outro fator de produção.

Analisando os dados da Tabela 6 verifica-se que para N e K, diferentemente do esperado (dados de literatura), a variância da população de baixa produtividade não é maior do que a da população de alta produtividade. Essa inversão nas variâncias pode estar relacionada à efeitos de diluição.

A partir dos modelos estatísticos ajustados para o teor de nutrientes em função dos índices DRIS e IKW (Tabelas 3 e 4), calculou-se a faixa de suficiência dos teores, considerando-se uma amplitude de $\pm 2/3$ s para o índice DRIS e 83 a 117% para o índice IKW, o que inclui 50% da população ao redor da média.

Em relação à faixa de suficiência dos teores, verifica-se grande concordância entre os clones avaliados e entre estes e os valores ideais para o conjunto dos clones, com exceção para Cu e Mn, em que as faixas de suficiência tiveram amplitude diferenciada entre os clones estudados. Isto indica que normas gerais podem ser utilizadas para a obtenção de níveis de suficiência para minicepas de eucalipto em minijardim clonal. Vale salientar que as pequenas diferenças observadas nas faixas de suficiência entre os clones podem ser resultantes de diferentes exigências nutricionais e absorção de nutrientes entre os clones. Variações na concentração de nutrientes são resultados de diferentes taxas de acúmulo de nutrientes, bem como distintas taxas de aquisição de nutrientes.

Todavia, trabalhos realizados com eucalipto em campo, sugerem que a adoção de normas específicas seria o mais indicado (Silva et al., 2004 e 2005; Rocha, 2008). No entanto, deve-se considerar que as condições ambientais e o manejo adotado em viveiros (condições em que este estudo foi realizado) são muito homogêneos, o que pode explicar os resultados encontrados, tendo em vista que os valores de referência, seja com base em teores ou relações duais entre nutrientes, refletem o histórico das práticas de manejo adotadas. Além disso, normas gerais e específicas divergentes podem ser um indicativo de maior influência de fatores ambientais (características edafoclimáticas) na disponibilidade ou aquisição de nutrientes pelo eucalipto.

Ainda, ao observar o nível de suficiência proposto por Higashi et al. (2004) para brotações de minicepas de eucalipto entre 7 e 14 dias, em condição de minijardim clonal, e os valores limites adotados pelo viveiro onde foi realizado o monitoramento nutricional, verifica-se que há divergência entre estes valores e as faixa de suficiência estimadas pelos métodos

IKW e DRIS em pelo menos metade dos nutrientes. Diante disto, sugere-se a adoção das faixas de suficiência calculadas pelos métodos estudados, em substituição ao nível de suficiência usualmente adotado.

A estimativa de faixas de suficiência para teores de nutrientes pelos métodos IKW e DRIS, com menor amplitude, na maioria dos casos, em relação às faixas estabelecidas na literatura por Higashi et al. (2004), sugere maior adequação do uso das faixas de suficiência obtidas neste trabalho. Deve-se salientar, que os teores e faixas de suficiência estimados referem-se a alta performance das minicepas, com elevada taxa de enraizamento, bem como alto número de miniestacas produzidas pelas minicepas de eucalipto.

A estimativa das faixas de suficiência dos teores de nutrientes foi semelhante, entre os dois métodos, para a maioria dos nutrientes, exceto N e S (Tabela 5). Essa diferença é resultante das distintas características e procedimentos de cálculos entre os métodos analisados, sendo que o IKW considera apenas o teor de um nutriente em cada análise e o DRIS avalia as relações de todos os nutrientes em conjunto, sendo os valores obtidos pelo método DRIS considerados mais representativos, pois este é mais restritivo. Cabe ressaltar que a comparação de métodos de diagnose nutricional, com características de cálculos e interpretações em seus índices bem diferenciados, é importante para a identificação de diferenças no resultado fornecido em cada método, possibilitando melhor diagnose do estado nutricional (Silva et al., 2005).

Ao analisar amplitude das faixas de suficiência estimadas pelo DRIS, verifica-se que esta parece estar relacionada ao coeficiente de variação do teor do nutriente na população de alta produtividade (Tabelas 5 e 6), ou seja, altos valores de CV podem estar relacionados a maior amplitude da faixa de exigência nutricional apresentada pelo eucalipto em viveiro. Assim, para os nutrientes N e P, nutrientes com menor amplitude da faixa de suficiência, observa-se valores de CV baixos, enquanto para S, por exemplo, os valores de CV são elevados, e a respectiva amplitude da faixa de suficiência é maior, chegando a até quatro vezes a diferença entre os limites inferior e superior da faixa.

Em relação aos efeitos dos teores dos nutrientes na população de alta e baixa produtividade observa-se que o teor médio na população de baixa produtividade, para alguns nutrientes, é maior que na população de alta produtividade, sendo que isto pode ser atribuído ao efeito de diluição (Tabela 6).

Tento em vista a pequena diferença entre os clones, em relação às faixas de suficiência estimadas, elaborou-se uma tabela, para os conjunto dos clones, onde foram determinadas as

faixas dos nutrientes consideradas: deficiente, tendente a suficiente, suficiente, alta, tendente a excessiva e excessiva (Tabela 7).

Para ser considerado deficiente, o teor de S teria de assumir valores negativos, usando o DRIS. Já para o Cu, pelo método IKW, observa-se a mesma situação. Isto indica que estudos são necessários para verificar a adequação da adoção de um critério único de determinação das faixas limites dos nutrientes.

Tabela 7: Faixas de suficiência estabelecidos para minicepas de eucalipto: teor ótimo e faixa dos nutrientes considerados - deficiente, tendente a suficiente, suficiente, alta, tendente a excessiva e excessiva pelos métodos Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) e DRIS calculados a partir de normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG.

Nutriente	Método	Teor ótimo	Deficiente	Tendente a suficiente	Suficiente	Alta	Tendente a excessiva	Excessiva
-----g kg ⁻¹ -----								
N	IKW ¹	41,6	<18,9	18,9 a 33,8	33,8 a 41,6	41,6 a 49,3	49,3 a 64,3	>64,3
	DRIS ²	41,6	<41,2	41,2 a 41,4	41,4 a 41,6	41,6 a 41,8	41,8 a 41,9	>41,9
P	IKW	4,1	<1,8	1,8 a 3,3	3,3 a 4,1	4,13 a 4,9	4,9 a 6,4	>6,4
	DRIS	4,1	<3,5	3,5 a 3,8	3,8 a 4,1	4,1 a 4,3	4,3 a 4,6	>4,6
K	IKW	22,9	<9,0	9,0 a 18,1	18,1 a 22,9	22,9 a 27,6	27,6 a 36,8	>36,8
	DRIS	22,9	<16,0	16,0 a 19,4	19,4 a 22,9	22,9 a 26,3	26,3 a 29,7	>29,7
Ca	IKW	6,2	<2,2	2,2 a 4,8	4,8 a 6,2	6,2 a 7,6	7,6 a 10,3	>10,3
	DRIS	6,2	<3,7	3,7 a 5,0	5,0 a 6,2	6,2 a 7,5	7,5 a 8,8	>8,8
Mg	IKW	3,8	<1,4	1,4 a 3,0	3,0 a 3,8	3,8 a 4,6	4,6 a 6,1	>6,1
	DRIS	3,8	<1,9	1,9 a 2,8	2,8 a 3,8	3,8 a 4,7	4,7 a 5,6	>5,6
S	IKW	1,9	<0,2	0,2 a 1,3	1,3 a 1,9	1,9 a 2,5	2,5 a 3,7	>3,7
	DRIS	1,9	<-0,5	-0,5 a 0,7	0,7 a 1,9	1,9 a 3,0	3,0 a 4,2	>4,2
-----mg kg ⁻¹ -----								
Zn	IKW	43,0	<14,5	14,5 a 33,3	33,3 a 43,0	43,0 a 52,7	52,7 a 71,5	>71,5
	DRIS	43,0	<15,9	15,9 a 29,3	29,3 a 43,0	43,0 a 56,6	56,6 a 70,0	>70,0
Cu	IKW	14,1	<-0,9	-0,9 a 9,0	9,0 a 14,1	14,1 a 19,3	19,3 a 29,2	>29,2
	DRIS	14,1	<0,6	0,6 a 7,1	7,1 a 14,1	14,1 a 21,1	21,1 a 27,6	>27,6
Fe	IKW	94,5	<16,8	16,8 a 68,1	68,1 a 94,5	94,5 a 120,9	120,9 a 172,3	>172,3
	DRIS	94,5	<24,2	24,2 a 59,2	59,2 a 94,5	94,5 a 129,9	129,9 a 164,9	>164,9
Mn	IKW	641,5	<50,7	50,7 a 440,6	440,6 a 842,4	440,6 a 641,5	641,5 a 1232,3	>1232,3
	DRIS	641,5	<114,5	114,5 a 376,6	376,6 a 906,4	376,6 a 641,5	641,5 a 1168,5	>1168,5
B	IKW	51,3	<16,2	16,2 a 39,3	39,3 a 63,2	39,3 a 51,3	51,3 a 86,4	>86,4
	DRIS	51,3	<24,2	24,2 a 37,7	37,7 a 64,9	37,7 a 51,3	51,3 a 78,3	>78,3

Teores estimados: ¹para índices balanceados (calculado conforme Kenworthy, 1961) teor ótimo igual a 100%, menor que 50% para teores considerados deficientes, entre 50 e 83% para tendente a suficiente, 83 e 100% para suficiente, 100 e 117% para alto, 117 e 150% para tendente a excessivo e maior que 150% para teores considerados excessivos; ²para índices DRIS (calculado conforme Alvarez V. & Leite, 1999), utilizando um fator de ajuste c=1, conforme Wadt et al. (1998b), teor ótimo igual a zero, menor que -4/3 s para teores considerados deficientes, entre -4/3 e -2/3 s para tendente a suficiente, -2/3 e 0 s para adequado, 0 e 2/3 s para alto, 2/3 e 4/3 s para tendente a excessivo e maior que 4/3 s para teores considerados excessivos.

Segundo Kurihara (2004) e Rocha (2008) o método IKW tem menor sensibilidade na discriminação da deficiência nutricional quando o CV do nutriente é elevado, como é o caso do Cu (nutriente com maior CV). De acordo com Rocha (2008) quando o CV atinge valores acima de 30% os critérios de interpretação dos resultados perdem o significado, e os teores dos nutrientes para serem considerados como deficientes teriam de assumir valores muito pequenos ou até absurdos (negativos).

No caso do DRIS, uma das desvantagens é a existência de dependência entre os índices (Baldock e Schulte, 1996), podendo o teor de um nutriente influenciar na interpretação de outro nutriente, o que pode induzir ao diagnóstico de deficiente para um nutriente que está equilibrado. Ainda, no método DRIS quando a relação dual entre nutrientes na amostra é menor que a relação da população de referência pode ocorrer uma superestimação da deficiência nutricional, o que aconteceu em parte das amostras usadas na análise.

CONCLUSÕES

Os métodos DRIS e índices balanceados de Kenworthy são promissores para a calibração de teores ótimos e faixas de suficiência para minicepas de eucalipto, a partir de dados provenientes de monitoramento nutricional de viveiro comercial.

Normas gerais podem ser usadas para estimar as faixas de suficiência dos teores foliares em minicepas de eucalipto.

As informações fornecidas neste trabalho além de permitir avaliar o estado nutricional das plantas são úteis para indicar se são necessários ajustes nas soluções nutritivas empregadas nos minijardins, bem como no manejo nutricional utilizado no minijardim clonal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.20-25, 1999.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v. 88, n.3, p.448-456, 1996.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**: a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plant nutrition. Pietermaritzburg, South Africa, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, p.769-850, 2007.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional da minicepas com o número de miniestacas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.36, n.79, p.203-213, 2008.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.591-599, 2009a.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F. de; LEITE, F. P. Influência do estado nutricional de minicepas no enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.607-615, 2009b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1997. 212p.

FARNEZI, M. M. de M.; SILVA, E. de B.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional e cafeeiros da região do Alto Jequitinhonha (MG): normas DRIS e faixas críticas de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.969-978, 2009.

GUINDANI, R. H. P.; ANGHINONI, I.; NACHTIGALL, G. R. DRIS na avaliação do estado nutricional do arroz irrigado por inundação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.109-118, 2009.

- HARTZ, T. K.; MIYAO, E. M.; VALENCIA, J. G. DRIS evaluation of the nutritional status of precessing tomato. **Horticultural Science**, v.33, p.830-832, 1998.
- HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. A.; GONÇALVES, A. N. Nutritional monitoring and fertilization in clonal macro-, mini-, and microgardens. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETI, V. (Eds.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 195-221.
- 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, 1961. p.28-43.
- KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- NEEDHAM, T. D.; BURGER, J. A.; ODERWALD, R. G. Relationship between diagnosis and integrated system (DRIS) optima and foliar nutrient critical levels. **Soil Science Society American Journal**, v. 54, p. 883-886, 1990.
- REIS Jr., R. dos; CORRÊA, J. B.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Diagnose nutricional de cafeeiros da região sul de Minas Gerais: normas DRIS e teores foliares adequados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n.3, p.801-808, 2002.
- REIS JÚNIOR, R. A.; MONNERAT, P. H. DRIS norms validation for sugarcane crop. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 3, p.379-385, 2003.
- ROCHA, J. B. de O. **Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2008. 52f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SERRA, A. P.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; CAMACHO, M. A. Determinação de faixas normais de nutrientes no algodoeiro pelos métodos CHM, CND e DRIS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.105-113, 2010.
- SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V. H. & LEITE , F. P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. **Sientia Agricola**, v.61, n.5, p.507-515, 2004.
- 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**, v.29, p.755-761, 2005.
- URANO, E. O. M.; KURIHARA, C. H.; MAEDA, S.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C.; MARCHETTI, M. E. Determinação de teores ótimos de nutrientes em soja pelos métodos chance matemática, sistema integrado e diagnose e recomendação e diagnose da composição nutricional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.63-72, 2007.
- WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; FONSECA, S.; FERNANDES FILHO, E. I. Avaliação da nutrição nitrogenada de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *E.*

urophylla em plantios da Aracruz Celulose S. A. pelo método da chance matemática. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBCS/UFV, 1995. p.1320-1322.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtido pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p. 685-692, 1998a.

WADT, P. G. S.; ALVAREZ, V., V. H.; NOVAIS, R. F.; FONSECA, S.; BARROS, N. F. O método da chance matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de *Eucalyptus*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p. 773-778, 1998b.

AValiação DO ESTADO NUTRICIONAL DE MINICEPAS DE EUCALIPTO

RESUMO – O alto custo dos fertilizantes, a importância da nutrição mineral na produtividade e o nível de tecnologia adotado nos viveiros clonais do Brasil tornam relevante a utilização de técnicas de avaliação do estado nutricional, como a diagnose foliar. Entre os métodos para diagnóstico nutricional das plantas, destaca-se o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS), que utiliza o conceito do balanço de nutrientes e os Índices Balanceados de Kenworthy (IKW), que utiliza o equilíbrio. O objetivo deste trabalho foi realizar o diagnóstico nutricional em minicepas de eucalipto mediante o uso de normas específica (por clone) e normas gerais (conjunto de clones) por meio dos métodos IKW e DRIS, comparar o diagnóstico obtido entre clones e métodos através da frequência de diagnósticos concordantes e, integrar os diagnósticos realizados pelos distintos métodos de diagnose estudados. Foram utilizadas informações do monitoramento nutricional de um viveiro de eucalipto. A diagnose foi realizada utilizando os métodos IKW e DRIS. Para todas as situações, clones e conjunto dos clones, os métodos DRIS e IKW foram comparados com base na frequência de diagnósticos concordantes, contemplando os nutrientes separadamente para uma mesma amostra. Os métodos IKW e DRIS são eficientes para avaliar o estado nutricional de minicepas de eucalipto. O diagnóstico do estado nutricional de minicepas de eucalipto pode ser realizado a partir de normas gerais (conjunto de clones). Do ponto de vista do balanço e equilíbrio, os nutrientes mais limitantes por falta nas minicepas de eucalipto são Ca, Mg, Zn, Cu e B e mais limitantes por excesso são S, Fe e Mn.

Palavras-chave: diagnose foliar, *Eucalyptus*, deficiência nutricional, métodos de diagnose.

EVALUATION OF NUTRITIONAL STATUS OF EUCALYPT MINISTUMPS

ABSTRACT – The high cost of fertilizers, the importance of mineral nutrition on productivity and level of technology used in clonal nurseries in Brazil lead to use of relevant techniques for assessment of nutritional status, such as foliar diagnosis. Among the methods

for nutritional diagnosis of plants, there is the Integrated System Diagnosis and Recommendation (DRIS), which uses the concept of nutrient balance of nutrients and Kenworthy Balanced Index (IKW), which uses the concept of equilibrium. The objective of this study was to perform the nutritional diagnosis in ministumps eucalypt by the use of specific norms (for clone) and general norms (set of clones) by the methods DRIS and IKW and to compare the diagnosis obtained among clones by the frequency of concordant diagnosis and methods and diagnosis performed by integrating different methods of diagnosis studied. It were used data from monitoring of nutritional status of a nursery of eucalypt. The diagnosis was made using IKW and DRIS methods. For all situations, IKW and DRIS methods compared all the clones and set of clones, based on the frequency of concordant diagnosis, incorporating the nutrients separately for the same sample. IKW and DRIS methods are efficient to evaluate the nutritional status of eucalypt ministumps. The nutritional diagnosis status of eucalypt ministumps can be performed from the general norms set (clones). From the standpoint of balance and equilibrium, the most limiting nutrients for lack in eucalyptus in ministumps are Ca, Mg, Zn, Cu and B and the most limiting for excess are S, Fe and Mn.

Keywords: *Eucalyptus*, nutritional deficiency, methods of diagnosis.

INTRODUÇÃO

O uso da análise foliar como critério de diagnóstico baseia-se na premissa de existir relação entre o suprimento de nutrientes e os seus teores na planta e que alterações nas concentrações dos nutrientes estão relacionadas à variações na produtividade, ou seja, estas variáveis estão diretamente relacionadas. Nesse sentido, a avaliação do estado nutricional de espécies vegetais tem sido amplamente utilizada e discutida, no intuito de possibilitar intervenções mais precisas em sistemas de produção, por meio de práticas de manejo e adubação.

O planejamento, avaliação e calibração das práticas de adubação das culturas podem ser realizados por meio da diagnose nutricional das plantas. Dentre os métodos de diagnose nutricional, destacam-se os Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) (Kenworthy, 1961) e o Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973).

O método proposto por Kenworthy, que avalia o balanço nutricional, permite avaliar o estado nutricional por meio da porcentagem de desvio da concentração de 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. Quando a concentração de dado nutriente na amostra for menor que a concentração desse nutriente nas normas, a influência da variabilidade é adicionada. Quando essa concentração estiver acima da concentração da norma, a influência da variabilidade é subtraída, obtendo-se assim, índices balanceados (Cantarutti et al., 2007).

O método DRIS incorpora o conceito de equilíbrio nutricional entre os nutrientes nos tecidos das plantas (Baldock e Schulte, 1996), além disso, indica a ordem de limitação dos nutrientes (Costa, 1999). Esta técnica se baseia no cálculo de índices para cada nutriente, avaliados em função da relação das razões dos teores de cada nutriente com os demais, comparando-os dois a dois, com relações consideradas padrões, cuja composição é obtida de uma população de plantas altamente produtivas.

Neste sentido, a utilização, em conjunto, dos métodos IKW e DRIS apresentam-se como importante ferramenta para a diagnose nutricional, possibilitando avaliar o estado

nutricional, harmonizando balanço e equilíbrio. Ainda, a compreensão dos princípios considerados por diferentes métodos de diagnose, bem como a comparação de seus resultados, é importante para utilização criteriosa dessas ferramentas de análise (Silva et al., 2005).

Os métodos IKW e DRIS têm sido utilizados essencialmente para avaliar o estado nutricional de árvores de eucalipto (Wadt et al., 1998a; Wadt et al., 1998b; Wadt et al., 1999; Wadt, 2004; Silva et al., 2004, Silva et al., 2005; Rocha, 2008). Na fase de viveiro, não existem trabalhos que utilizem os princípios e métodos preconizados por Kenworthy (1961) e Beaufils (1973). Para minicepas de clones de eucalipto, nem mesmo trabalhos utilizando outros métodos de diagnose foliar foram desenvolvidos.

O enraizamento e a produção de miniestacas de eucalipto são variáveis com o material genético (Cunha et al., 2008, 2009a e 2009b). Tendo em vista essa variação, pode-se levantar a hipótese de que o diagnóstico produzido mediante normas específicas (por clone) e normas gerais (conjunto de clones) sejam diferentes, tanto para o método IKW quanto para o DRIS.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi realizar o diagnóstico nutricional em minicepas de eucalipto mediante o uso de normas específica (por clone) e normas gerais (conjunto de clones) por meio dos métodos IKW e DRIS, comparar o diagnóstico obtido entre clones e métodos através da frequência de diagnósticos concordantes e, integrar os diagnósticos realizados pelos distintos métodos de diagnose estudados.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas informações do banco de dados do viveiro da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S. A.), localizado no Município de Belo Oriente – MG, no período de 2003 a 2009.

O município de Belo Oriente - MG, localiza-se na região do Vale do Rio Doce, com clima do tipo Aw (temperado chuvoso-mesotérmico), segundo a classificação de Köppen, latitude de 19°18'23" S e longitude 42°22'46" W e altitude média de 363 m. Apresenta precipitação média anual de 1.233 mm. Os dados meteorológicos foram obtidos por meio de estações localizadas no viveiro da empresa no período de janeiro de 2003 a maio de 2009 (Tabela 1).

Tabela 1: Temperatura (T) máxima, média e mínima, radiação solar (R) e umidade relativa do ar (UR) no período de janeiro de 2003 a maio de 2009, no município de Belo Oriente – MG.

Mês	T máx. (°C)	T méd. (°C)	T mín. (°C)	R (MJ m ⁻² dia ⁻¹)	UR (%)
Janeiro	31,4	25,1	21,1	19,5	80,4
Fevereiro	32,2	25,3	20,9	21,6	77,5
Março	31,6	25,1	21,0	19,3	80,0
Abril	30,3	23,9	20,0	16,5	82,2
Mai	28,3	21,3	16,7	14,0	81,8
Junho	27,4	19,8	14,8	13,1	81,4
Julho	27,3	19,3	13,6	14,0	77,1
Agosto	28,8	21,0	15,3	15,9	71,7
Setembro	29,5	22,3	16,8	16,7	69,8
Outubro	31,7	24,8	19,4	18,9	65,6
Novembro	30,5	24,5	20,5	16,9	75,7
Dezembro	30,9	24,7	20,7	19,6	79,5

A partir de um banco de dados, contendo 145 amostras de clones de *Eucalyptus* foram obtidas as normas DRIS e IKW para minicepas. As condições de manejo e o material amostrado foram semelhantes para todas as amostras, diferindo somente o material genético.

Para a obtenção dessas normas utilizaram-se os dados de performance (% de enraizamento e número de miniestacas produzidas pelas minicepas) (Tabela 2) e teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B das minicepas de *Eucalyptus* cultivadas

em minijardim clonal em leito de areia, com teto translúcido retrátil, com fertirrigação por gotejamento, conforme descrito em Cunha et al. (2009b). Na amostragem dos tecidos foliares obedeceu-se às seguintes orientações: foram coletadas folhas (sem pecíolo) totalmente expandidas no terço médio da minicepa em fase de produção; evitou-se coletar folhas de minicepas recém colhidas; as folhas foram lavadas com água destilada antes de serem processadas para análise. Foram coletadas duas amostras compostas para cada clone, em cada oportunidade, sendo que em cada amostra foram utilizadas dez minicepas. A frequência da coleta de amostras foi mensal nos anos de 2003 e 2004, e bimensal a partir de 2005.

Tabela 2: Porcentagem média de enraizamento e número médio de miniestacas produzidas pelas minicepas de clones de eucalipto utilizados na população de referência para geração das normas para os métodos IKW e DRIS, de acordo com o clone.

Clone	População de referência	
	Enraizamento (%)	Número de miniestacas
C1	89,5	7,6
C2	91,4	6,9
C3	86,6	9,9
C4	89,2	9,2

Após lavagem, as amostras foram colocadas em estufa para secagem a $60^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, até peso constante, sendo em seguida moídas. Foram feitas análises, determinando-se Ca, Mg, K, P, S, Zn, Cu, Fe e Mn em extrato nitro-perclórico; N em extrato sulfúrico; e B em extrato de ácido clorídrico, após a calcinação, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997).

Os dados de todas as amostras deram origem às populações de interesse de estudo, sendo para tanto: a) estratificadas por clone: C1 (n = 36 amostras), C2 (n = 39 amostras), C3 (n = 36 amostras) e C4 (n = 34 amostras), sendo os clones C1 e C2 clones de *Eucalyptus urophylla* e os outros, clones de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*; b) não estratificadas – abrangendo, assim o conjunto dos clones (CJ), num total de 145 amostras.

Para cada clone calcularam-se a média, o desvio-padrão e o coeficiente de variação da % de enraizamento e do número de miniestacas produzidas pelas minicepas. A seguir fez-se a subdivisão da população em amostras de baixa e alta produtividade, sendo esta última a população de referência, definida como sendo maior que a média. Quando as 145 amostras foram consideradas em conjunto, a população de referência foi constituída pelas amostras classificadas como de alta produtividade para os clones considerados. A partir da população de referência foram calculadas normas específicas (por clone) e normas gerais (conjunto dos clones).

As normas, todas referentes à população de referência, consistiram em: média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos teores dos nutrientes e de todas as relações duais (direta e inversa) entre os nutrientes considerados. Assim, foram obtidas 110 relações, metade relações diretas e metade inversas. Em função dessas normas procedeu-se a avaliação do estado nutricional pelos métodos IKW e DRIS.

Para o cálculo dos Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) (Kenworthy, 1961), considerou-se o coeficiente de variação (CV) do teor médio do nutriente da população de referência. Quando o teor do nutriente da amostra (y_i) é menor que o da norma (\bar{Y}), o CV é adicionado, e quando o teor da amostra é maior, o CV é diminuído. A partir da população 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).

$$P = 100 y_i/\bar{Y}, \quad I = CV(y_i-\bar{Y})/\bar{Y} \quad \text{e} \quad B = P - I$$

Onde: 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 do nutriente na população de referência; e B - índice balanceado de Kenworthy.

De acordo com o valor obtido para o IKW, os resultados foram interpretados da seguinte forma, classe 1: deficiente (< 50%); classe 2: tendente a suficiente (50 a 83%); classe 3: suficiente (83 a 100%); classe 4: alta (100 a 117%); classe 5: tendente a excessiva (117 a 150%); e classe 6: excessiva (> 150%).

Para o DRIS, a partir da população de referência, foram estabelecidas as relações entre o teor de um dado nutriente e os teores dos demais nutrientes, sendo estas transformadas em variáveis normais reduzidas (Z). Pelo cálculo da média aritmética das relações diretas e inversas, transformadas em variáveis normais reduzidas, foi definido o Índice DRIS, de acordo com Alvarez V. e Leite (1999):

$$Z(A/B) = [(A/B) - (a/b)]/s \quad \text{e} \quad I_A = \frac{Z(A/B) + Z(A/C) + \dots + Z(A/N) - Z(B/A) - Z(C/A) - \dots - Z(N/A)}{2(n-1)}$$

Onde: A/B e a/b - relação dual entre os teores dos nutrientes (A e B) da população sob diagnose e na população de referência (a e b); s - desvio-padrão da relação dual da população de referência; I_A - índice DRIS do nutriente; e n - número de nutrientes envolvidos na análise.

Estes procedimentos foram utilizados para cálculo dos índices de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B. Os valores numéricos dos índices DRIS, considerando o sinal positivo ou negativo, indicam a direção e a magnitude do afastamento ao ponto ótimo (índice DRIS igual a zero), expresso em unidades de desvio-padrão. Para fins de interpretação, estes índices foram agrupados em cinco classes, com base no conceito de faixas de Beaufils: classe 1 –

deficiente ($< -4/3$ s); classe 2- tendente a suficiente ($-4/3$ a $-2/3$ s); classe 3 – suficiente ($-2/3$ a 0 s); classe 4 – alta (0 a $2/3$ s); classe 5 – tendente a excessiva ($2/3$ a $4/3$ s); e classe 6 – excessiva ($> 4/3$ s). A soma dos valores absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente dividido por n fornece o índice de equilíbrio nutricional médio (IEN_m) (Wadt, 1996), que permite comparar o equilíbrio nutricional de diversas amostras entre si e com diferentes números de nutrientes analisados. Portanto, espera-se que quanto menor o IEN_m melhor será o estado nutricional. Para fins de interpretação do estado nutricional global, agruparam-se os valores de IEN_m em três classes: classe 1 - desequilibrada ($\geq 1,0$); classe 2 - moderadamente desequilibrada ($0,4$ a $1,0$), e classe 3 - equilibrada ($\leq 0,4$).

Para a interpretação dos índices DRIS, Wadt (1996) incorporou o conceito de potencial de resposta à adubação (PRA) (Tabela 3). Para tanto, nas amostras diagnosticadas, os nutrientes, para cada clone, foram inicialmente classificados segundo o potencial de resposta à adubação em respostas: positiva (p), positiva ou nula (pz), nula (z), negativa ou nula (nz) e negativa (n). Posteriormente, visando maior síntese, foi feito o agrupamento das duas primeiras e das duas últimas classes de resposta nas classes de *status* nutricional, dando origem, respectivamente, às classes limitante por falta (LF), não-limitante (NL) e limitante por excesso (LE), conforme Silva (2001).

Tabela 3: Interpretação dos índices DRIS, quanto ao potencial de resposta à adubação, em função das classes de status nutricional.

Índice	Módulo do Índice	+ LF OU + LE	Potencial de Resposta à Adubação	Classes de <i>Status</i> Nutricional
< 0	$> IEN_m$	Sim	P	LF
< 0	$> IEN_m$	Não	pz	LF
> 0	$> IEN_m$	Sim	n	NL
> 0	$> IEN_m$	Não	nz	NL
≤ 0	$\leq IEN_m$	independente	z	LE
≥ 0	$\leq IEN_m$	independente	z	LE

IEN_m = Índice de equilíbrio nutricional médio; + LF = o mais limitante por falta; + LE = o mais limitante por excesso; positiva (p); positiva ou nula (pz); negativa (n); negativa ou nula (nz) e nula (z); LF = limitante por falta; LE = limitante por excesso; e NL = não-limitante. Fonte: Wadt et al. (1998a).

Para todas as situações, clones e conjunto dos clones, os métodos DRIS e IKW foram comparados com base na frequência de diagnósticos concordantes (FDC), contemplando os nutrientes separadamente para uma mesma amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A maioria dos nutrientes situou-se, em maior percentual, nas classes de diagnose suficiente e alta, pelos métodos IKW e DRIS (Tabelas 4 e 5). De modo geral, os nutrientes considerados limitantes, tanto por falta quanto por excesso, foram os mesmos para os dois métodos de diagnose. Dentre os materiais genéticos observou-se algumas diferenças na ordem de limitação nutricional, no entanto, os nutrientes considerados mais limitantes foram praticamente os mesmos independente do clone analisado, sendo que o Mg e Mn foram os nutrientes que sempre ocupavam as primeiras posições na ordem de limitação por falta e excesso, respectivamente, para todos os clones e conjunto dos clones (Tabelas 4 e 5). Isto é um indicativo de que normas gerais por clones podem ser usadas no diagnóstico do estado nutricional de minicepas de clones de eucalipto.

Considerando o *status* nutricional pelo método do Potencial de Resposta à Adubação (PRA) dos clones estudados, verifica-se que os nutrientes cuja maior frequência de resposta $p + pz$, ou seja, limitantes por falta, foram Mn e Ca, Ca e Mg, S e Cu, B e P, e B e Ca, para os clones C1, C2, C3, C4 e CJ (conjunto dos clones), respectivamente (Tabela 6). Os mais limitantes por excesso (resposta $nz + n$) foram S e Mn, Mn e P, Mn e K, Cu e Ca e Mn e K, para os clones C1, C2, C3, C4 e CJ, respectivamente. De modo geral, verifica-se que o Ca e Mg foram os nutrientes com maiores problemas de limitação por falta e o Fe e Mn com limitação por excesso, independente do material genético.

Independente do método de diagnose e do material genético os nutrientes Fe e Mn apresentaram os maiores problemas de limitação por excesso. O minijardim clonal onde as minicepas de eucalipto são cultivadas é localizado em local coberto, além disso, as minicepas são fertirrigadas por gotejamento. Desta forma, as minicepas de onde são coletados o material para análise foliar poderiam estar empoeiradas, pois praticamente não têm contato com água. Isto poderia estar influenciando a determinação de Fe e Mn nos tecidos, uma vez que a poeira contém esses nutrientes e a lavagem em excesso das folhas pode eliminar outro nutriente por lixiviação.

Wadt et al. (1998a) sugerem que a recomendação de adubação seja realizada para o nutriente que apresente alta probabilidade de resposta positiva, ou seja, aquele nutriente

limitante por falta. De modo análogo, também é interessante a adoção de práticas de manejo que possibilitem a redução do suprimento relativo do nutriente com alta probabilidade de resposta negativa à adubação.

Tabela 4: Frequência de amostras em que N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B em minicepas de clones de eucalipto, subpopulação de baixa produtividade¹, mediante normas específicas por clone e normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG, enquadram-se nas situações: (I) deficiente, (II) tendente a suficiente, (III) suficiente, (IV) alta, (V) tendente a excessiva, e (VI) excessiva, pelos método Kenworthy (IKW)².

Material genético	Diagnóstico nutricional	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
C1 (n=19)	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	II	0,0	0,0	0,0	10,5	21,1	10,5	10,5	15,8	26,3	31,6	15,8
	III	52,6	36,8	42,1	36,8	36,8	21,1	36,8	31,6	36,8	26,3	47,4
	IV	47,4	42,1	42,1	26,3	31,5	26,2	31,6	36,8	15,8	21,1	15,8
	V	0,0	21,1	15,8	21,1	10,6	21,1	10,5	0,0	5,3	15,8	15,8
	VI	0,0	0,0	0,0	5,3	0,0	21,1	5,3	15,8	15,8	5,3	5,3
C2 (n=18)	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	II	0,0	5,6	0,0	22,2	27,8	5,6	11,1	0,0	11,1	5,6	27,8
	III	44,4	55,6	33,3	33,3	16,7	38,9	33,3	72,2	33,3	22,2	27,8
	IV	55,6	22,2	55,6	33,3	38,9	50,0	44,4	22,2	33,3	38,9	33,3
	V	0,0	16,7	11,1	11,1	16,7	5,6	5,6	5,6	11,1	5,6	11,1
	VI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	27,8	0,0
C3 (n=18)	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6
	II	0,0	0,0	0,0	11,1	22,2	16,7	16,7	38,9	27,8	0,0	44,4
	III	55,6	50,0	33,3	55,6	38,9	38,9	38,9	55,6	33,3	33,3	27,8
	IV	44,4	50,0	55,6	16,7	33,3	11,1	33,3	5,6	11,1	22,2	22,2
	V	0,0	0,0	11,1	16,7	5,6	27,8	11,1	0,0	27,8	27,8	0,0
	VI	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	16,7	0,0
C4 (n=18)	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0
	II	0,0	11,1	5,6	0,0	27,8	5,6	11,1	11,1	5,6	27,8	50,0
	III	55,6	27,8	33,3	38,9	38,9	33,3	50,0	27,8	61,1	22,2	22,2
	IV	44,4	61,1	44,4	33,3	22,2	38,9	11,1	22,2	16,7	16,7	11,1
	V	0,0	0,0	16,7	22,2	11,1	22,2	16,7	27,8	16,7	16,7	16,7
	VI	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	5,6	11,1	0,0	16,7	0,0
CJ (n=73)	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	0,0	0,0	1,4
	II	0,0	5,5	0,0	9,6	23,3	9,6	13,7	19,2	12,3	17,8	34,2
	III	47,9	43,8	38,4	42,5	34,2	38,4	38,4	41,1	52,1	32,9	35,6
	IV	52,1	43,8	50,7	21,9	34,2	24,7	30,1	27,4	13,7	16,4	16,4
	V	0,0	6,8	11,0	21,9	8,2	20,5	11,0	6,8	15,1	20,5	11,0
	VI	0,0	0,0	0,0	4,1	0,0	6,8	2,7	5,5	6,8	12,3	1,4

¹≤ que a média; ²Kenworthy (1961).

Tabela 5: Frequência de amostras em que N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B em minicepas de clones de eucalipto, subpopulação de baixa produtividade¹, mediante normas específicas por clone e normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG, enquadram-se nas situações: (I) deficiente, (II) tendente a suficiente, (III) suficiente, (IV) alta, (V) tendente a excessiva, e (VI) excessiva, pelos método DRIS².

Material genético	Diagnóstico nutricional	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B
		-----%										
C1 (n=19)	I	0,0	10,5	0,0	5,3	0,0	0,0	5,3	15,8	0,0	5,3	5,3
	II	10,5	5,3	5,3	5,3	21,1	5,3	5,3	0,0	10,5	21,1	0,0
	III	47,4	31,6	36,8	36,8	31,6	21,1	36,8	36,8	47,4	26,3	57,9
	IV	42,1	36,8	47,4	26,3	47,4	68,4	47,4	31,6	26,3	31,6	31,6
	V	0,0	10,5	10,5	15,8	0,0	5,3	5,3	0,0	0,0	10,5	5,3
	VI	0,0	5,3	0,0	10,5	0,0	0,0	0,0	15,8	15,8	5,3	0,0
C2 (n=18)	I	0,0	5,6	0,0	5,6	22,2	0,0	5,6	5,6	0,0	0,0	0,0
	II	0,0	11,1	5,6	27,8	5,6	5,6	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0
	III	44,4	38,9	27,8	33,3	22,2	27,8	55,6	61,1	27,8	27,8	55,6
	IV	44,4	33,3	55,6	22,2	44,4	61,1	38,9	27,8	44,4	33,3	38,9
	V	11,1	5,6	5,6	5,6	0,0	5,6	0,0	0,0	16,7	11,1	5,6
	VI	0,0	5,6	5,6	5,6	5,6	0,0	0,0	5,6	5,6	27,8	0,0
C3 (n=18)	I	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	11,1	0,0	0,0	5,6
	II	0,0	5,6	0,0	11,1	11,1	0,0	0,0	22,2	11,1	0,0	5,6
	III	38,9	27,8	22,2	50,0	33,3	22,2	33,3	61,1	44,4	22,2	55,6
	IV	50,0	61,1	61,1	27,8	55,6	72,2	66,7	5,6	22,2	33,3	33,3
	V	11,1	5,6	16,7	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	22,2	0,0
	VI	0,0	0,0	0,0	5,6	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1	22,2	0,0
C4 (n=18)	I	0,0	16,7	5,6	5,6	5,6	0,0	5,6	5,6	0,0	11,1	11,1
	II	16,7	16,7	5,6	16,7	16,7	5,6	0,0	11,1	5,6	11,1	38,9
	III	38,9	16,7	27,8	22,2	44,4	16,7	61,1	27,8	55,6	22,2	16,7
	IV	33,3	44,4	50,0	22,2	33,3	72,2	27,8	22,2	27,8	33,3	27,8
	V	11,1	5,6	11,1	5,6	0,0	5,6	5,6	11,1	11,1	5,6	5,6
	VI	0,0	0,0	0,0	27,8	0,0	0,0	0,0	22,2	0,0	22,2	0,0
CJ (n=73)	I	0,0	2,7	0,0	1,4	1,4	2,7	4,1	1,4	0,0	1,4	2,7
	II	1,4	11,0	8,2	13,7	17,8	4,1	1,4	16,4	5,5	12,3	15,1
	III	52,1	31,5	26,0	38,4	37,0	23,3	52,1	30,1	49,3	23,3	47,9
	IV	38,4	46,6	54,8	27,4	41,1	67,1	42,5	42,5	30,1	31,5	30,1
	V	8,2	6,8	9,6	11,0	2,7	2,7	0,0	5,5	6,8	17,8	4,1
	VI	0,0	1,4	1,4	8,2	0,0	0,0	0,0	4,1	8,2	13,7	0,0

¹ ≤ que a média; ²Beaufils (1973).

Tabela 6: Frequência de amostras quanto ao status¹ nutricional pelo método DRIS-PRA² em minicepas de clones de eucalipto, subpopulação de baixa produtividade³, derivado de normas específicas para cada clone e normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG.

Material genético	Status do nutriente	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	Ordem
		-----%-----											
C1 (n=19)	LF	10,5	21,1	5,3	31,6	21,1	5,3	10,5	21,0	21,1	36,8	21,0	Mn > Ca > P = Mg = Fe > Cu = B > N = Zn > K = S
	NL	84,2	52,6	68,4	42,1	73,6	57,9	89,5	63,2	52,6	26,4	63,2	Zn > N > Mg > K > Cu = B > S > P = Fe > Ca > Mn
	LE	5,3	26,3	26,3	26,3	5,3	36,8	0,0	15,8	26,3	36,8	15,8	S = Mn > P = K = Ca = Fe > Cu = B > N = Mg > Zn
C2 (n=18)	LF	0,0	22,2	5,6	44,4	33,3	5,6	16,7	33,3	16,7	11,1	27,8	Ca > Mg = Cu > B > P > Zn = Fe > Mn > K = S > N
	NL	88,9	55,6	72,2	44,4	50,0	77,7	83,3	44,5	61,1	27,8	66,7	N > Zn > S > K > B > Fe > P > Mg > Cu > Ca > Mn
	LE	11,1	22,2	22,2	11,2	16,7	16,7	0,0	22,2	22,2	61,1	5,5	Mn > P = K = Cu = Fe > Mg = S > Ca > N > B > Zn
C3 (n=18)	LF	0,0	11,1	0,0	33,3	11,1	77,8	0,0	61,1	38,9	11,1	50,0	S > Cu > B > Fe > Ca > P = Mg = Mn > N = K = Zn
	NL	83,3	77,8	61,1	38,9	88,9	0,0	94,4	33,3	33,3	33,3	44,4	Zn > Mg > N > P > K > B > Ca > Cu = Fe = Mn > S
	LE	16,7	11,1	38,9	27,8	0,0	22,2	5,6	5,6	27,8	55,6	5,6	Mn > K > Ca = Fe > S > N > P > Zn = Cu = B > Mg
C4 (n=18)	LF	5,5	33,3	5,6	27,8	27,8	5,5	16,7	16,7	0,0	33,3	50,0	B > P = Mn > Ca = Mg > Zn = Cu > K > N = S > Fe
	NL	77,8	55,6	83,3	33,3	66,7	89,0	77,8	38,9	72,2	27,8	38,9	S > K > N = Zn > Fe > Mg > P > Cu = B > Ca > Mn
	LE	16,7	11,1	11,1	38,9	5,5	5,5	5,5	44,4	27,8	38,9	11,1	Cu > Ca = Mn > Fe > N > P = K = B > Mg = S = Zn
CJ (n=73)	LF	6,9	23,4	12,4	28,9	28,8	21,9	11,0	28,8	24,7	20,5	32,9	B > Ca > Mg = Cu > Fe > P > S > Mn > K > Zn > N
	NL	76,7	57,5	58,9	41,2	64,4	56,2	89,0	53,4	50,6	35,6	56,2	Zn > N > Mg > K > P > S = B > Cu > Fe > Ca > Mn
	LE	16,4	19,1	28,7	21,9	6,8	21,9	0,0	17,8	24,7	43,9	10,9	Mn > K > Fe > Ca > S > P > Cu > N > B > Mg > Zn

¹Classificação atribuída aos índices DRIS (Tabela 2); ²Beaufils (1973), considerando o IENm proposto por Wadt (1996), PRA- potencial de resposta à adubação; ³≤ que a média. LF – limitante por falta, NL – não limitante e LE – limitante por excesso.

A concordância entre os métodos Kenworthy e DRIS foi feita com base na frequência de diagnósticos concordantes (FDC) das classes obtidas por esses métodos. A FDC dos nutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B foi, em média, 75% (IKW x DRIS) (Tabela 7). De modo geral, a FDC do *status* nutricional foi superior a 50% para IKW x DRIS. Possivelmente, essa diferença reflete a menor sensibilidade do método IKW em detectar situações de deficiência nutricional, principalmente quando o CV dos teores de alguns nutrientes é maior que 40% (Kurihara, 2004; Rocha, 2008). Além disso, outra possibilidade é a amostra estar com nutrientes desequilibrados por excesso. Uma das limitações do método DRIS é a relativa dependência entre os índices, o que faz com que um índice muito elevado influencie negativamente os demais, podendo-se diagnosticar deficiência para um nutriente que se encontra em concentrações adequadas (Cantarutti et al., 2007).

Tabela 7: Frequência de amostras com diagnósticos concordantes (FDC) do balanço¹ e equilíbrio¹ de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B em minicepas de clones de eucalipto, subpopulação de baixa produtividade², entre os métodos Kenworthy³ e DRIS⁴, mediante normas específicas por clone e normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG.

Material genético	IKW x DRIS											\bar{y}
	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Cu	Fe	Mn	B	
	-----FDC (%)-----											
C1 (n=19)	100,0	52,6	84,2	78,9	78,9	52,6	78,9	84,2	73,7	84,2	63,1	75,6
C2 (n=18)	88,9	66,7	77,8	66,7	50,0	88,9	83,3	88,9	83,3	88,9	66,7	77,3
C3 (n=18)	88,9	88,9	83,3	88,9	83,3	50,0	72,2	61,1	72,2	94,4	61,1	76,8
C4 (n=18)	72,2	61,1	88,9	50,0	77,8	83,3	100,0	72,2	94,4	72,2	66,7	76,3
CJ (n=73)	90,4	79,5	80,8	78,1	76,7	63,0	71,2	76,7	75,3	68,5	67,1	75,2

¹Concordância entre as classes (deficiente, tendente a suficiente, suficiente, alta, tendente a excessiva e excessiva); ²≤ que a média; ³Kenworthy (1961); e ⁴Beaufils (1973).

A integração dos índices IKW e DRIS fornece a avaliação em conjunto do balanço e do equilíbrio nutricional. Esta integração foi feita conforme proposto por Rocha (2008). De acordo com os métodos de diagnose adotados nesse estudo, as amostras que estão localizadas na área destacada em branco, ou seja, -17 a 17 para o IKW-100 e de -0,66 a 0,66 para o IDRIS, apresentam-se balanceados e equilibrados para o nutriente analisado. As áreas demarcadas em cinza claro apresentam tendência de estar com o nutriente desbalanceado e desequilibrado por excesso (mais claro) e falta (mais escuro); as amostras localizadas nas regiões demarcadas de cinza-escuro apresentam-se com o nutriente desbalanceado e desequilibrado por excesso (mais claro) e falta (mais escuro). Provavelmente, a correção de um determinado nutriente nas

amostras localizadas nas regiões abaixo do eixo das abscissas (exceto região demarcada em branco) resulte em ganhos de performance das minicepas.

Integrando os diagnósticos realizados pelos métodos IKW e DRIS para as minicepas de eucalipto mediante o uso de normas gerais, verifica-se que os nutrientes que se apresentaram mais limitantes por falta foram B e Ca (25 e 20% das amostras, respectivamente); enquanto, os nutrientes mais limitantes por excesso foram Mn, S e Fe (33, 21 e 18% das amostras, respectivamente), na subpopulação de baixa produtividade (Figuras 1 e 2). Outros nutrientes também apresentaram limitações por falta, como o Mg, Zn e Cu, com acima de 15% das amostras desbalanceadas e desequilibradas ao mesmo tempo, sendo merecedores, em princípio, de correção nutricional.

Os nutrientes que apresentam maior concentração de amostras com teores adequados, pelos métodos IKW e DRIS foram N, P e K, com em média 80% da subpopulação de baixa produtividade diagnosticada como balanceada e equilibrada. De modo geral, todos os nutrientes apresentaram maior proporção de amostras diagnosticadas como adequadas à medida que o diagnóstico realizado passou da subpopulação de baixa para a de alta produtividade (Figuras 1 e 2), sendo que, em média, 66% da subpopulação de alta produtividade (população de referência) concentra-se na região que representa a nutrição balanceada e equilibrada ao mesmo tempo.

A maior proporção de amostras com nutrição equilibrada na subpopulação de alta produtividade era esperada, uma vez que segundo Kurihara (2004) uma simples relação de equilíbrio entre nutrientes pode não ter uma relação direta com a produtividade das culturas, tendo em vista que outros fatores limitantes de natureza não nutricional podem estar afetando o crescimento e desenvolvimento das plantas. Deste modo, tem-se que uma população de alta produtividade necessariamente apresenta uma nutrição equilibrada; o inverso, no entanto, pode não ocorrer.

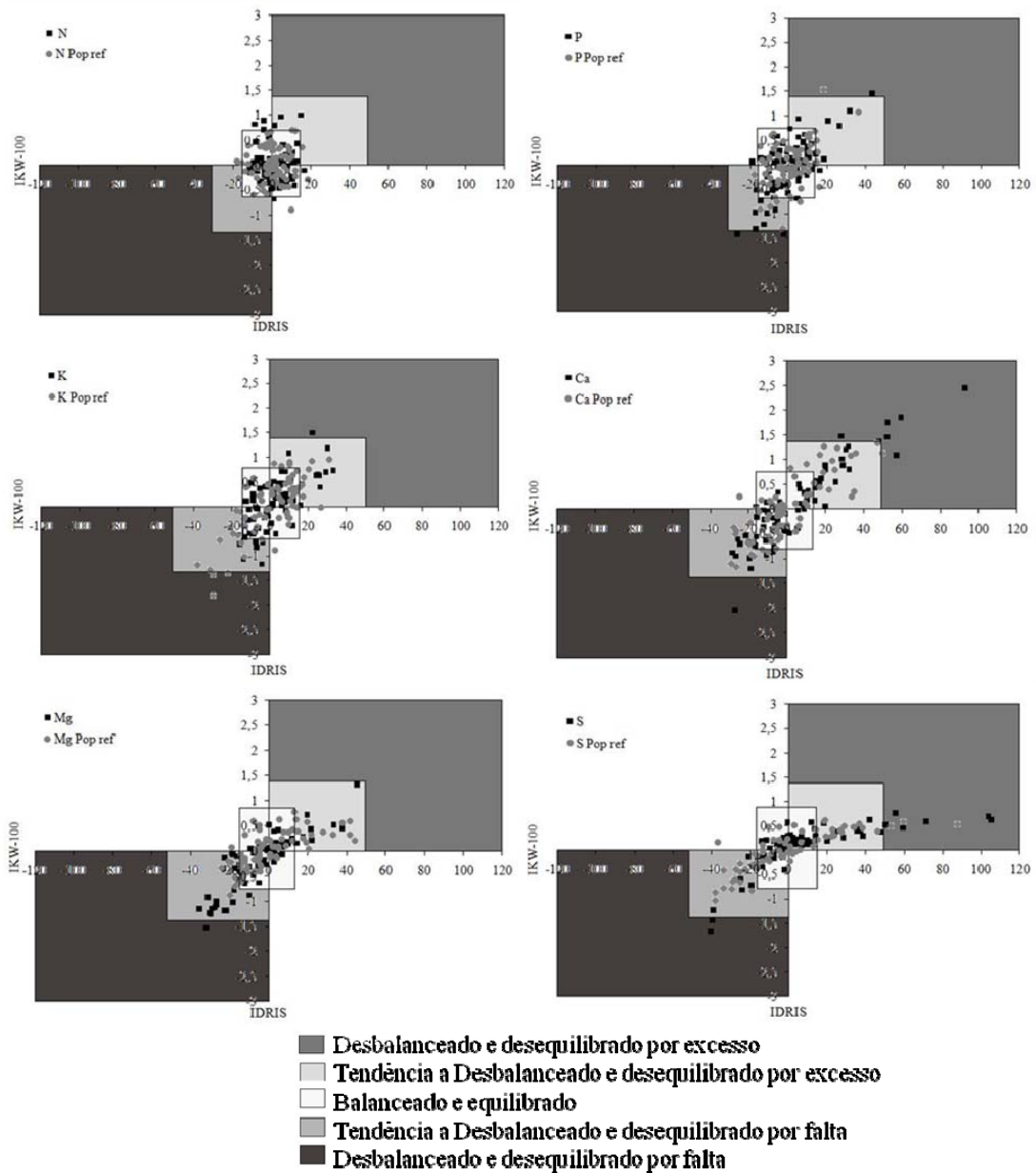


Figura 1: Índices balanceados de IKW-100 e índices DRIS de N, P, K, Ca, Mg e S em minicepas de clones de eucalipto, mediante normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG.

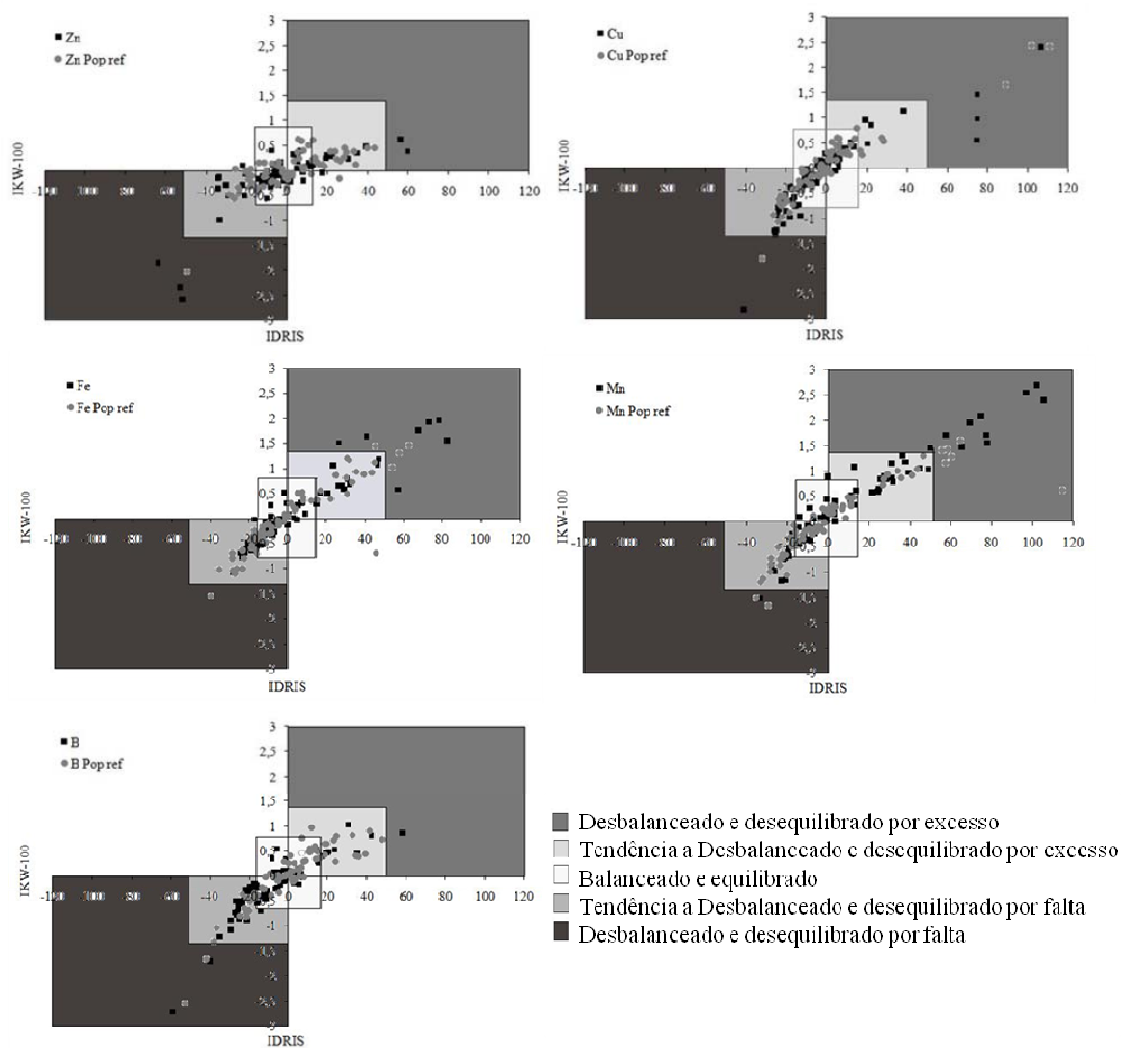


Figura 2: Índices balanceados de IKW-100 e índices DRIS de Zn, Cu, Fe, Mn e B em minicepas de clones de eucalipto, mediante normas gerais para o conjunto dos clones, município de Belo Oriente – MG.

O grau de equilíbrio nutricional de determinada amostra pode ser inferido pelo IENm e pelo índice de Kenworthy médio (IKWm), que representa a média aritmética dos índices tomados em módulo (no caso do índice Kenworthy médio os índices IKW são subtraídos de 100). Assim, quanto maior o IKWm e IENm maior o desequilíbrio nutricional das amostras diagnosticadas.

De modo a obter um retrato da nutrição, mediante o diagnóstico obtido usando normas gerais, considerando conjuntamente os 11 nutrientes envolvidos no diagnóstico, elaborou-se a Figura 3. A relacionar o enraizamento das minicepas de eucalipto nas amostras e sua nutrição, considerando o IKWm e o IENm, verificou-se que as amostras com maior enraizamento (população de referência) apresentam tendência de menor

dispersão dos dados e valores dos índices mais próximos de zero, ou seja, as amostras apresentam-se mais balanceadas e equilibradas, em comparação com as amostras da subpopulação de baixa produtividade.

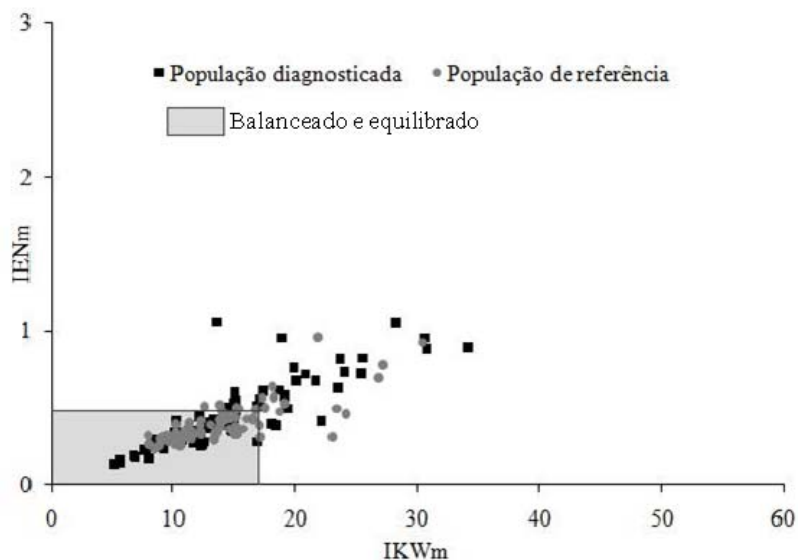


Figura 3: Gráfico de dispersão relacionando balanço e equilíbrio nutricional global (considerando todos os nutrientes envolvidos no diagnóstico) das minicepas de eucalipto mediante normas gerais para o conjunto dos clones.

As amostras posicionadas entre os limites 0 - 17 do IKWm e 0 - 0,4 do IENm estão balanceadas e equilibradas. Assim, verifica-se que 56 e 47% do total das amostras das subpopulações de alta e baixa produtividade encontram-se nessa faixa, respectivamente (Figura 3).

CONCLUSÕES

Os métodos IKW e DRIS são eficientes para avaliar o estado nutricional de minicepas de eucalipto.

O diagnóstico do estado nutricional de minicepas de eucalipto pode ser realizado a partir de normas gerais (conjunto de clones).

Do ponto de vista do balanço e equilíbrio, os nutrientes mais limitantes por falta nas minicepas de eucalipto são Ca, Mg, Zn, Cu e B e mais limitantes por excesso são S, Fe e Mn.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.20-25, 1999.

BALDOCK, J.O.; SCHULTE, E.E. Plant analysis with standardized scores combines DRIS and sufficiency range approaches for corn. **Agronomy Journal**, v. 88, n.3, p.448-456, 1996.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS): a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plat nutrition**. Pietermaritzburg, South Africa, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, p.769-850, 2007.

COSTA, A.N. Sistema integrado de diagnose e recomendação (DRIS). **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p.13-15, 1999.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional da minicepas com o número de miniestacas de eucalipto. **Scientia Forestalis**, v.36, n.79, p.203-213, 2008.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; BARROS, N. F. de; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Relação do estado nutricional de minicepas com o enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, p.591-599, 2009a.

CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F. de; LEITE, F. P. Influência do estado nutricional de minicepas no enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.607-615, 2009b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: SNLCS, 1997. 212p.

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, 1961. p.28-43.

KURIHARA, C. H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ROCHA, J. B. de O. **Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2008. 52f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, G.G.C. **Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND**. 2001. 132f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, G. G. C.; NEVES, J. C. L.; ALVAREZ V., V. H. & LEITE , F. P. Nutritional diagnosis for eucalypt by DRIS, M-DRIS, and CND. **Sientia Agricola**, v.61, n.5, p.507-515, 2004.

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**, v.29, p.755-761, 2005.

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**. 1996.123f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvore de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 661-666, 1998a.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtido pelos métodos DRIS e chance matemática. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.4, p. 685-692, 1998b.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F. de; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F. de; DIAS, L. E. Variações no estado nutricional de eucaliptos por influência do material genético e da idade da árvore. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n.10, p.1797-1803, 1999.

WADT, P. G. S. Nutritional status of *Eucalyptus grandis* clones evaluated by critical level and DRIS methods. **Revista Árvore**, v.28, n.1, p.15-20, 2004.

**REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NO DIAGNÓSTICO DO ESTADO
NUTRICIONAL DE MINICEPAS E PREVISÃO DE ENRAIZAMENTO
DE MINIESTACAS DE EUCALIPTO**

RESUMO - A cultura do eucalipto apresenta grande importância econômica, ambiental e social, o que tem estimulado consideráveis investimentos em pesquisas. Para que se possa aprimorar o manejo nutricional dessa cultura na fase de viveiro, pode-se fazer o uso da diagnose nutricional com base na análise de tecidos. Os dados nutricionais, assim como os dados de monitoramento climático, são úteis em pesquisas que visem melhorar o manejo do viveiro, com conseqüente aumento no aproveitamento e qualidade das mudas, bem como maximizar aproveitamento de insumos. Assim, os objetivos deste estudo foram treinar e avaliar a eficiência de redes neurais artificiais para realizar o diagnóstico do estado nutricional de minicepas e a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto, a partir de informações oriundas de monitoramento nutricional de viveiro clonal de eucalipto e variáveis climáticas. Os dados utilizados foram provenientes de banco de dados do viveiro da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S. A.), localizado no Município de Belo Oriente – MG, no período de 2003 a 2009. As variáveis numéricas consideradas foram teores foliares dos nutrientes das minicepas de clones de eucalipto cultivadas em minijardim clonal em leito de areia, porcentagem de enraizamento e variáveis climáticas. E as variáveis categóricas foram os índices do diagnóstico do estado nutricional através dos métodos: Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação, Índices Balanceados de Kenworthy e Potencial de Resposta a Adubação. Os dados foram divididos aleatoriamente em dois grupos: treinamento (70%) e generalização (30%). Os dados de treinamento foram utilizados para criar as redes neurais artificiais e os dados de generalização serviram para avaliar a capacidade da rede em fornecer resultados precisos para dados desconhecidos. Concluiu-se que as redes neurais artificiais do tipo *Perceptrons* de Múltiplas Camadas (MLP) são capazes de desempenhar a tarefa de classificação de padrões e aproximação de funções para o

diagnóstico do estado nutricional de minicepas e previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto, respectivamente.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, nutrição de plantas, *Perceptrons* de Múltiplas Camadas.

ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS FOR DIAGNOSIS OF NUTRITIONAL STATUS OF MINISTUMPS AND PREDICTION MINICUTTINGS ROOTING OF EUCALYPT

ABSTRACT- Eucalyptus cultivation has a great economic, environmental and social importance, which has stimulated considerable investment in research. To be able to improve the nutritional management of this crop at the nursery, you can make use of nutritional diagnosis based on tissue analysis. Nutritional data, as well as climate monitoring data are useful in research aimed at improving the management of the nursery, leading to an increase productivity and quality of seedlings, as well as maximizing utilization of inputs. The objectives of this study were to train and evaluate the effectiveness of artificial neural networks for diagnosis of nutritional status of ministumps and to predict minicuttings rooting of eucalypt. It was used information from monitoring of nutritional status of eucalypt clonal nursery and climate variables. The data used were from the database of the nursery of Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA SA), located in Belo Oriente - MG in the period 2003 to 2009. The numerical variables considered were foliar nutrients of ministumps of eucalypt clones grown in clonal minigarden on the sand bed, rooting percentage and climatic variables. And categorical variables were nutritional index of nutritional status by the methods: Integrated System Diagnosis and Recommendation, Kenworthy Balanced Index and Potential Response to Fertilization. The data were divided randomly into two groups: training (70%) and generalization (30%). The training data were used to create artificial neural networks and the generalization data was used to evaluate network capacity to provide accurate results for unknown data. It was concluded that artificial neural networks like multilayer *Perceptrons* (MLP) are capable of performing the task of pattern classification and function approximation for the diagnosis of nutritional status of ministumps and prediction of minicuttings rooting of eucalypt, respectively. Keywords: *Eucalyptus*, plants nutrition, multilayer *Perceptrons*.

INTRODUÇÃO

Segundo Mills e Jones Jr. (1996) a análise de tecidos pode ser empregada no diagnóstico do estado nutricional das plantas porque existe relação entre o estado nutricional e a performance da planta e entre a composição foliar e o estado nutricional. Assim, Cantarutti et al. (2007) afirmaram que a performance de uma planta ou cultura, seja medida em termos de produtividade, seja de qualidade ou ambos, tem como limite o potencial genético e é influenciada por fatores do ambiente de crescimento, tais como: luz, temperatura, suprimento de água e de nutrientes, sendo que se todos os demais fatores forem otimizados, o crescimento e o desenvolvimento serão dependentes do suprimento de nutrientes.

Neste sentido, métodos de diagnose do estado nutricional de plantas, tais como: Sistema Integrado de Diagnose e recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973) e Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) (Kenworthy, 1961), têm sido empregados como ferramenta complementar no auxílio do manejo nutricional.

São inúmeras as vantagens advindas do uso desses métodos de diagnose em relação ao método do nível crítico, sendo este último, comumente usado na avaliação do estado nutricional. No entanto, também existem certas desvantagens, podendo-se destacar: maior dificuldade nos cálculos dos índices; dependência entre os índices (no caso do DRIS), o que pode levar índice muito elevado a influenciar negativamente os demais, podendo diagnosticar como deficiente um nutriente que se encontra em concentrações adequadas; dificuldade de detectar situações de deficiência quando os teores dos nutrientes apresentam altos valores de coeficiente de variação (no caso do IKW) (Cantarutti et al., 2007; Rocha, 2008). Uma alternativa ao diagnóstico do estado nutricional, mantendo as vantagens inerentes ao emprego dos métodos DRIS e IKW, é a utilização de redes neurais artificiais.

Em um viveiro clonal de produção de mudas, existem diversos fatores que influenciam a propagação de plantas por miniestaquia, tanto no crescimento quanto na diferenciação das raízes, podendo-se destacar: estado nutricional (Bellamine et al., 1998; Josten & Kutschera, 1999; Schwambach et al., 2005; Francis e Halford, 2006) e

condições climáticas (Fett-Neto et al., 2001; Corrêa e Fett-Neto, 2004; Corrêa et al., 2005). Assim, qualquer pesquisa específica nessas áreas contribui para um melhor manejo do viveiro, com conseqüente aumento no aproveitamento e qualidade das mudas, bem como melhor aproveitamento de insumos.

A metodologia tradicional baseia-se em equações de regressão, estimadas após a instalação de experimentos, nos quais, para o caso da avaliação do potencial de enraizamento em função da nutrição, são testadas doses de determinado nutriente e avaliada a taxa de enraizamento em função dessas doses, por exemplo. Uma alternativa a instalação desses experimentos, diferentes daquelas usuais, consiste no uso de redes neurais artificiais.

A aplicação de redes neurais artificiais no campo da ciência florestal é promissora. Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos na área de manejo florestal e processamento de imagens com resultados superiores aos obtidos usando metodologias tradicionais (Schoeninger et al., 2008; Görgens et al., 2009; Silva et al., 2009; Chagas et al., 2009; França et al., 2009; Binoti, 2010). No entanto, apesar desses resultados animadores, na área de silvicultura não foram encontrados trabalhos com este enfoque.

Uma rede neural artificial (RNA) é um sistema computacional paralelo constituído por unidades de processamento simples, também denominadas neurônios artificiais ou nodos, conectadas entre si de uma maneira específica para desempenhar determinada tarefa. Os neurônios artificiais são modelos matemáticos simplificados dos neurônios biológicos, que processam as informações recebidas e ponderadas por pesos sinápticos fornecendo uma única resposta (Braga et al., 2000; Haykin, 2001; Bullinaria, 2009).

A solução de problemas usando as redes neurais artificiais têm apresentado desempenho superior às soluções convencionais devido a diversos fatores como: estrutura maciça paralelamente distribuída; habilidade de aprender e portanto generalizar; capacidade de resolver problemas complexos; são tolerantes à falhas; possibilidade de modelagem com variáveis categóricas (qualitativas), além de numéricas (quantitativas); e analogia neurobiológica, pois as redes são inspiradas no cérebro humano (Braga et al., 2000; Haykin, 2001).

Outra característica interessante das redes neurais artificiais é a capacidade de extrair características não explícitas de um conjunto de informações que lhes são fornecidas como exemplos (Haykin, 2001). A rede executa um mapeamento de entrada-

saída de maneira não-paramétrica, uma vez que não é necessário estabelecer pressuposições sobre o modelo estatístico dos dados de entrada (Braga et al., 2000).

Dentre as dificuldades encontradas no treinamento das redes neurais destaca-se: definição da melhor arquitetura; possibilidade de ocorrência de problemas como subtreinamento e sobre-treinamento; interpretação de como a rede obteve os resultados; e ponto de parada de treinamento (parada em um ponto de mínimo local ao invés de parar no ponto de mínimo global da superfície de erro). No entanto, apesar dessas dificuldades os resultados obtidos com o uso das redes neurais artificiais não são comprometidos (Braga et al., 2000; Olden e Jackson, 2002).

Os problemas tratáveis por meio de redes neurais podem ser divididos em três tipos principais de tarefas de aprendizagem: aproximação de função, classificação de padrões e agrupamento de dados (Haykin, 2001).

O diagnóstico do estado nutricional enquadra-se na tarefa de classificação de padrões. Nesta aplicação, a rede aprende a classificar um padrão desconhecido entre várias classes ou categorias. Assim, ao deparar com um padrão desconhecido a rede deve classificá-lo em uma das classes existentes. Para que o desempenho do classificador para novos padrões possa ser avaliado, o classificador passa por uma fase de teste, onde é observado o número de acertos realizados para um conjunto de padrões cujas classes sejam desconhecidas (Braga et al., 2000; Haykin, 2001).

Já a previsão de enraizamento, enquadra-se na tarefa de aproximação de função que consiste em treinar uma rede neural que aproxime a função desconhecida $f(x)$, que descreve o mapeamento dos pares de entrada-saída $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$ de um conjunto de n padrões de treinamento (exemplos) (Jain et al., 1996).

Estas tarefas de aprendizagem enquadram-se no paradigma do aprendizado supervisionado, e como arquitetura de rede neural que desempenha estas tarefas destaca-se o *perceptron* de múltiplas camadas (também denominado *Multilayer Perceptron* ou MLP), com conexão *feedforward* (alimentadas adiante), sem realimentação. No treinamento das redes MLP geralmente é utilizado o algoritmo de retropropagação do erro (*error back-propagation*), que é baseado na regra de aprendizagem por correção do erro. Nesta regra, os sinais de entrada são apresentados à rede que gera uma saída, que é comparada com a saída desejada, um erro é gerado e este erro aciona um mecanismo de controle que aplica uma seqüência de ajustes corretivos aos pesos sinápticos, a fim de aproximar a saída do resultado desejado, ou seja, minimizar o erro (Haykin, 2001; Valença, 2005).

Diante do exposto, o diagnóstico do estado nutricional de minicepas e a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto podem ser obtidos utilizando redes neurais artificiais, empregando dados de teores de nutrientes nos tecidos vegetais, variáveis climáticas, e dados de enraizamento das miniestacas. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi treinar e avaliar a eficiência de redes neurais artificiais para realizar o diagnóstico do estado nutricional de minicepas e a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição dos dados

Os dados foram provenientes de banco de dados do viveiro da Celulose Nipo Brasileira (CENIBRA S. A.), localizado no Município de Belo Oriente – MG, no período de 2003 a 2009. As variáveis numéricas consideradas foram teores foliares dos nutrientes das minicepas de clones de eucalipto cultivadas em minijardim clonal em leito de areia, porcentagem de enraizamento e variáveis climáticas (temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) mínimas, médias e máximas; radiação total (MJ m⁻²); e radiação fotossintética total (μmol.m⁻².s)). E as variáveis categóricas foram os índices do diagnóstico do estado nutricional através dos métodos: Sistema Integrado de Diagnose e recomendação (DRIS) (Beaufils, 1973); Índices Balanceados de Kenworthy (IKW) (Kenworthy, 1961); Índice de Equilíbrio Nutricional médio (IEN_m); e Potencial de Resposta a Adubação (PRA) (Wadt, 1996). O número de classes das variáveis categóricas foram 6, 6, 3 e 5, respectivamente.

Os dados, englobando 145 amostras, foram divididos aleatoriamente em dois conjuntos, um para treinamento das redes (100 amostras) e outro para avaliar a generalização das redes treinadas (45 amostras), com uma proporção de cerca de 70% dos dados para treinamento e 30% para generalização. Esta divisão é importante para a avaliação e posterior escolha de uma rede neural artificial, pois a eficiência de uma rede deve ser analisada em um conjunto de dados diferente do utilizado no treinamento.

Obtenção dos índices DRIS, IKW, PRA e IEN_m

A partir do banco de dados, em um total de 145 amostras de clones de eucalipto foram obtidas as normas DRIS e IKW para minicepas. Para a obtenção dessas normas utilizaram-se os dados de performance (% de enraizamento e número de miniestacas produzidas pelas minicepas) (Tabela 1) e teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn e B das minicepas de *Eucalyptus* cultivadas em minijardim clonal em leito de

areia, com teto translúcido retrátil, com fertirrigação por gotejamento, conforme descrito em Cunha et al. (2009).

Tabela 1: Porcentagem média de enraizamento e número médio de miniestacas produzidas pelas minicepas de clones de eucalipto utilizados na população de referência para geração das normas para os métodos IKW e DRIS, de acordo com o clone.

Clone	População de referência	
	Enraizamento (%)	Número de miniestacas
C1	89,5	7,6
C2	91,4	6,9
C3	86,6	9,9
C4	89,2	9,2

Foram calculados: média e desvio-padrão dos dados de enraizamento e número de miniestacas produzidas pelas minicepas, expresso em porcentagem e unidade, respectivamente. A seguir fez-se a subdivisão da população em amostras de baixa e alta produtividade, sendo esta última a população de referência, definida como sendo maior que a média. As normas, todas referentes à população de referência, consistiram em: média, desvio-padrão e coeficiente de variação dos teores dos nutrientes e de todas as relações duais (direta e inversa) entre os nutrientes considerados. Assim, foram obtidas 110 relações duais, metade relações diretas e metade inversas.

Para o cálculo dos índices balanceados de Kenworthy (IKW) (Kenworthy, 1961), considerou-se o coeficiente de variação (CV) do teor médio do nutriente da população de referência. Quando o teor do nutriente da amostra (y_i) é menor que o da norma (\bar{Y}), o CV é adicionado, e quando o teor da amostra é maior, o CV é diminuído. A partir da população 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).

$$P = 100 y_i / \bar{Y}, \quad I = CV(y_i - \bar{Y}) / \bar{Y} \quad \text{e} \quad B = P - I$$

Onde: 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 do nutriente na população de referência; e B - índice balanceado de Kenworthy.

De acordo com o valor obtido para o IKW, os resultados foram interpretados da seguinte forma, classe 1: deficiente (< 50%); classe 2: tendente a suficiente (50 a 83%);

classe 3: suficiente (83 a 100%); classe 4: alta (100 a 117%); classe 5: tendente a excessiva (117 a 150%); e classe 6: excessiva (> 150%).

Para o DRIS, a partir da população de referência, foram estabelecidas as relações entre o teor de um dado nutriente e os teores dos demais nutrientes, sendo estas transformadas em variáveis normais reduzidas (Z). Pelo cálculo da média aritmética das relações diretas e inversas, transformadas em variáveis normais reduzidas, foi definido o Índice DRIS, de acordo com Alvarez V. e Leite (1999):

$$Z(A/B) = [(A/B) - (a/b)] / s$$

e

$$I_A = \frac{Z(A/B) + Z(A/C) + \dots + Z(A/N) - Z(B/A) - Z(C/A) - \dots - Z(N/A)}{2(n-1)}$$

Onde: A/B e a/b - relação dual entre os teores dos nutrientes (A e B) da população sob diagnose e na população de referência (a e b); s - desvio-padrão da relação dual da população de referência; I_A - índice DRIS do nutriente; e n - número de nutrientes envolvidos na análise.

Para fins de interpretação, estes índices foram agrupados em seis classes, com base no conceito de faixas de Beaufils: classe 1 – deficiente (<-4/3 s); classe 2- tendente a suficiente (-4/3 a -2/3 s); classe 3 – suficiente (-2/3 a 0 s); classe 4 – alta (0 a 2/3 s); classe 5 – tendente a excessiva (2/3 a 4/3 s); e classe 6 – excessiva (>4/3 s). A soma dos valores absolutos dos índices DRIS obtidos para cada nutriente dividido por n fornece o índice de equilíbrio nutricional médio (IEN_m) (Wadt, 1996), que permite comparar o equilíbrio nutricional de diversas amostras entre si e com diferentes números de nutrientes analisados. Para fins de interpretação do estado nutricional global, agruparam-se os valores de IEN_m em três classes: classe 1 - desequilibrada ($\geq 1,0$); classe 2 - moderadamente desequilibrada (0,4 a 1,0), e classe 3 - equilibrada ($\leq 0,4$).

Para a interpretação dos índices DRIS, Wadt et al. (1998) incorporou o conceito de potencial de resposta à adubação (PRA) (Tabela 2). Para tanto, nas amostras diagnosticadas, os nutrientes, para cada clone, foram inicialmente classificados segundo o potencial de resposta à adubação em respostas: positiva (p), positiva ou nula (pz), nula (z), negativa ou nula (nz) e negativa (n).

Tabela 2: Interpretação dos índices DRIS, quanto ao potencial de resposta à adubação, em função das classes de status nutricional.

Índice	Módulo do Índice	+ LF OU + LE	Potencial de Reposta à Adubação
< 0	> IEN _m	Sim	P
< 0	> IEN _m	Não	pz
> 0	> IEN _m	Sim	n
> 0	> IEN _m	Não	nz
≤ 0	≤ IEN _m	independente	z
≥ 0	≤ IEN _m	independente	z

IEN_m = Índice de equilíbrio nutricional médio; + LF = o mais limitante por falta; + LE = o mais limitante por excesso; positiva (p); positiva ou nula (pz); negativa (n); negativa ou nula (nz) e nula (z). Fonte: Wadt et al. (1998).

Treinamento das redes neurais artificiais

O treinamento de uma rede neural artificial, também denominado aprendizagem, consiste no ajuste dos parâmetros da rede (pesos e *bias*) através de um algoritmo de aprendizagem. Neste processo os dados de treinamento (conjunto de exemplos) são apresentados a uma arquitetura pré-estabelecida, ou seja, um determinado número de arranjos de neurônios em camadas. E o algoritmo de treinamento extrai características a fim de representar a informação fornecida e desempenhar uma determinada tarefa. As variáveis utilizadas como entrada das RNA para realizar o diagnóstico do estado nutricional e previsão de enraizamento foram: numéricas (teores dos nutrientes e variáveis climáticas) e categóricas (índices IKW, DRIS, IEN_m e PRA).

As redes treinadas foram do tipo Perceptrons de Múltiplas Camadas (MLP). Para o diagnóstico foram treinadas 3400 redes: 100 para cada nutriente e método em questão, ou seja, 100 redes para o N quando o diagnóstico foi realizado pelo IKW, outras 100 para o P, e assim sucessivamente até que os 11 nutrientes estudados fosse contemplados, bem como os diferentes métodos de diagnose, exceto para o IEN_m, no qual os 11 nutrientes são analisados em conjunto. Para a previsão de enraizamento foram treinadas 600 redes, 100 redes para prever o enraizamento das miniestacas a partir de cada conjunto de dados de entrada discriminados a seguir: teores dos 11 nutrientes; índices IKW; índices DRIS; índices DRIS e IKW selecionados conjuntamente; variáveis climáticas; e teores dos nutrientes e variáveis climáticas selecionados em conjunto. Destas foram pré-selecionadas 2 redes para cada situação, com base na taxa de acerto, no caso das redes para diagnóstico do estado nutricional e na correlação entre valores observados e estimados, no caso das redes para previsão de enraizamento.

A definição da arquitetura das redes, ou seja, número de neurônios por camada, foi otimizada pela ferramenta *Intelligent Problem Solver* (IPS) do *software* Statistica 7 (Stasoft, INC, 2007). Diante do grande número de possíveis combinações das variáveis de entrada disponíveis foi solicitada a otimização desta seleção por algoritmos do IPS. As demais etapas do treinamento, como pré-processamento, o treinamento propriamente dito e o pós-processamento também foram realizados pelo IPS.

Generalização das redes neurais artificiais

A generalização é a capacidade de uma rede neural produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento (aprendizagem). Nesta etapa, foram utilizados dados de 45 amostras não utilizadas durante o treinamento.

A estrutura dos dados de generalização foi semelhante à estrutura dos dados de treinamento. Assim, verificou-se a capacidade da rede em diagnosticar o estado nutricional e prever o enraizamento de miniestacas de eucalipto.

A aplicação das redes treinadas aos dados da generalização foi feita pelo *software* Statistica 7(Stasoft, INC, 2007).

Avaliação das estimativas geradas pelas redes neurais artificiais

A avaliação das estimativas geradas pelas redes neurais, nas duas etapas, treinamento e generalização, foi feita empregando, no caso das redes para diagnóstico, a taxa de acerto dos diagnósticos estimados em relação aos observados, e as redes foram comparadas quanto à eficiência, por meio do teste F, a 5% de probabilidade, comparando a variância dos valores estimado e observados. Para as redes de previsão de enraizamento a avaliação foi feita empregando estatísticas e análise gráfica de resíduos. As estatísticas empregadas foram a correlação entre os valores estimados e observados, a raiz quadrada do erro médio (RMSE%), e teste F, a 5% de probabilidade, comparando a variância dos valores estimado e observados. A análise gráfica consistiu na inspeção estatística da dispersão dos erros (resíduos) percentuais em relação aos valores observados, sendo:

$$erro_{\%} = \frac{\hat{Y} - Y}{Y} * 100$$

Onde: Y é a saída observada e \hat{Y} é a saída estimada pela rede neural artificial.

A correlação entre os valores observados e estimados ($r_{Y\hat{Y}}$) indica a força e a direção da relação entre as duas variáveis. Embora não permita inferir diretamente sobre a igualdade entre valores observados e estimados (Campos e Leite, 2009), a correlação indica o grau de associação entre valores observados e estimados e, juntamente com a análise de resíduos, permite inferir sobre a qualidade da estimação. Quanto mais próxima de 1, maior a correlação entre as variáveis, sendo:

$$r_{Y\hat{Y}} = \frac{\text{cov}(Y, \hat{Y})}{\sqrt{S^2(Y)S^2(\hat{Y})}}$$

Onde: S^2 é a variância e cov é a covariância.

A raiz do erro quadrado médio (RMSE) avalia a diferença quadrática média entre os valores observados e os valores estimados. Quanto menor o RMSE, melhor a precisão da estimativa (Mehtätalo et al., 2006), sendo:

$$RMSE(\%) = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y})^2}{n}} / \bar{Y}$$

Onde: \bar{Y} é média da saída observada e n é o número total de dados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diagnóstico do estado nutricional

Nas redes pré-selecionadas para realizar o diagnóstico do estado nutricional, em geral, todas as variáveis de entrada disponíveis para o treinamento da rede, foram importantes e selecionadas pelo algoritmo de otimização (Tabelas 3, 4 e 5), independente do método de diagnóstico usado como enfoque para o treinamento. Cabe ressaltar que quando o índice usado para a classificação foi o Kenworthy selecionou-se como variável de entrada somente um nutriente para cada rede. Nos demais métodos, DRIS e PRA, todos os nutrientes foram selecionados como variável de entrada. Assim, a seleção das variáveis de entrada baseou-se nas características intrínsecas ao método em questão.

Tabela 3: Características e precisão das redes neurais artificiais selecionadas para realizar o diagnóstico mediante o enfoque dos Índices Balanceados de Kenworthy (IKW).

RNA	Arquitetura*	Entradas	Saída	Treinamento	Generalização
				Acerto (%)	
1	MLP 1-8-4	N	IKW N	93,0	95,6
2	MLP 1-8-4	N	IKW N	93,0	95,6
3	MLP 1-8-4	P	IKW P	99,0	93,3
4	MLP 1-8-4	P	IKW P	97,0	95,6
5	MLP 1-6-4	K	IKW K	99,0	95,6
6	MLP 1-8-4	K	IKW K	100,0	95,6
7	MLP 1-8-5	Ca	IKW Ca	95,0	91,1
8	MLP 1-8-5	Ca	IKW Ca	95,0	95,6
9	MLP 1-8-4	Mg	IKW Mg	98,0	97,8
10	MLP 1-8-4	Mg	IKW Mg	97,0	97,8
11	MLP 1-8-5	S	IKW S	95,0	95,6
12	MLP 1-8-5	S	IKW S	96,0	93,3
13	MLP 1-8-6	Zn	IKW Zn	100,0	95,6
14	MLP 1-8-6	Zn	IKW Zn	100,0	93,3
15	MLP 1-8-5	Cu	IKW Cu	96,0	97,8
16	MLP 1-8-5	Cu	IKW Cu	98,0	97,8
17	MLP 1-7-5	Fe	IKW Fe	95,0	97,8
18	MLP 1-8-5	Fe	IKW Fe	99,0	91,1
19	MLP 1-8-5	Mn	IKW Mn	96,0	97,8
20	MLP 1-8-5	Mn	IKW Mn	99,0	95,6
21	MLP 1-8-6	B	IKW B	96,0	95,6
22	MLP 1-8-6	B	IKW B	96,0	91,1

*Tipo de RNA: Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), e número de neurônios em cada camada. IKW = Índice Balanceado de Kenworthy.

Tabela 3: Características e precisão das redes neurais artificiais selecionadas para realizar o diagnóstico mediante o enfoque do Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação (DRIS).

RNA	Arquitetura*	Entradas	Saída	Treinamento	Generalização
				Acerto (%)	
1	MLP 11-12-3	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS N	95,0	82,2
2	MLP 11-12-3	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS N	95,0	80,0
3	MLP 11-10-3	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS P	84,0	86,7
4	MLP 11-12-3	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS P	82,0	88,9
5	MLP 11-12-6	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS K	88,0	84,8
6	MLP 11-12-6	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS K	88,0	82,2
7	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Ca	88,0	80,0
8	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Ca	85,0	80,0
9	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Mg	95,0	84,4
10	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	IDRIS Mg	95,0	84,4
11	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS S	95,0	84,4
12	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS S	93,0	82,2
13	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Zn	97,0	84,4
14	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Zn	97,0	84,4
15	MLP 11-12-6	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Cu	88,0	77,8
16	MLP 11-12-6	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Cu	87,0	77,8
17	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Fe	85,0	80,0
18	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Fe	82,0	80,0
19	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Mn	85,0	82,2
20	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS Mn	84,0	82,2
21	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS B	90,0	84,4
22	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	DRIS B	91,0	86,7
23	MLP 11-12-3	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	IENm	85,0	84,4
24	MLP 10-12-3	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn	IENm	86,0	82,2

*Tipo de RNA: Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), e número de neurônios em cada camada. DRIS = Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação.

Tabela 4: Características e precisão das redes neurais artificiais selecionadas para realizar o diagnóstico mediante o enfoque do Potencial de Resposta à Adubação (PRA).

RNA	Arquitetura*	Entradas	Saída	Treinamento	Generalização
				Acerto (%)	
1	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA N	81,0	80,0
2	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA N	81,0	80,0
3	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA P	83,0	80,0
4	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA P	86,0	80,0
5	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA K	76,0	73,1
6	MLP 11-11-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA K	79,0	75,6
7	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Ca	80,0	75,6
8	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Ca	80,0	75,6
9	MLP 10-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn	PRA Mg	81,0	80,0
10	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Mg	82,0	80,0
11	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA S	97,0	77,8
12	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA S	95,0	80,0
13	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Zn	90,0	82,2
14	MLP 11-12-4	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Zn	90,0	88,9
15	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Cu	81,0	77,8
16	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Cu	81,0	80,0
17	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Fe	82,0	75,6
18	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Fe	82,0	75,6
19	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Mn	85,0	77,8
20	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA Mn	86,0	77,8
21	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA B	81,0	80,0
22	MLP 11-12-5	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	PRA B	82,0	77,8

*Tipo de RNA: Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), e número de neurônios em cada camada. PRA = Potencial de Resposta à Adubação.

Após o treinamento, os dados de validação, foram então processados e comparados aos valores observados pelo teste F, a 5% de probabilidade. Todas as redes

selecionadas apresentaram variância dos valores estimados estatisticamente iguais à variância dos valores observados.

A taxa de acerto das redes pré-selecionadas foi acima de 90, 82 e 76%, para o diagnóstico do estado nutricional sobre o enfoque dos métodos IKW, DRIS e PRA, respectivamente, no caso do treinamento e acima de 90, 80 e 75% para IKW, DRIS e PRA, respectivamente para a generalização.

As redes selecionadas para o diagnóstico sob o enfoque do IKW apresentaram taxas de acerto superiores aos métodos DRIS e PRA, provavelmente, devido ao fato de no treinamento das mesmas ter sido selecionado como variável de entrada somente um nutriente por rede.

O aumento do número de variáveis de entradas levou a um posterior aumento do número de neurônios artificiais das camadas intermediárias (Tabelas 3, 4 e 5), passando de 6 a 8 neurônios, quando somente um nutriente foi fornecido como variável de entrada, para 10 a 12 neurônios, quando os 11 nutrientes foram disponibilizados como entrada no treinamento da rede. Este fato é comum na construção de redes neurais. O aumento no número de “entradas” eleva a complexidade de se obter uma resposta. O cérebro humano também detecta esta complexidade, e para resolver problema em que estejam envolvidas mais de uma variável ou diversas situações ou sentidos, emprega maior quantidade de neurônios e regiões distintas do cérebro, aumentando o tempo de resposta. De forma análoga, as redes neurais artificiais, simulam este comportamento e aumentam o número de neurônios artificiais nas camadas intermediárias (Haykin, 2001).

Outro fator que pode ter influenciado foi o número diferente de amostras por classe, sendo que nas redes para diagnóstico do PRA a desigualdade de proporção entre as classes foi maior do que no IKW e DRIS. Quando são utilizadas redes neurais artificiais em problemas de classificação, durante o seu treinamento devem ser apresentados conjuntos de padrões representativos para cada uma das classes consideradas. A técnica de redes neurais não exige um conjunto de treinamento muito numeroso. A representatividade dos casos é mais importante que o número total de casos (Braga et al., 2000). Quando todas as classes são amostradas igualmente, as tendências são minimizadas durante o treinamento (Foody e Arora, 1997). No entanto, existem indicações de que isso seja necessário em algumas situações, ou seja, no caso em que determinada classe apresente maior variância pode ser imprescindível

uma maior amostragem da mesma, visando melhor resultado da exatidão global, como comprovado por Blamire (1996).

As duas redes pré-selecionadas para cada situação apresentaram taxas de acerto, no treino e generalização, similares, para a maioria das situações. A boa capacidade de generalização das redes após a fase de treinamento é um bom indicativo da qualidade das redes selecionadas, pois é essencial uma adequada generalização para a aplicação da rede a novos dados. Assim, no caso em que ocorreu diferença entre o acerto das duas redes pré-selecionadas, em cada situação, selecionou-se aquela que apresentou maior acerto na generalização.

As redes pré-selecionadas para diagnosticar as classes DRIS e PRA, apresentaram, para alguns nutrientes, no caso do DRIS: N, Mg, S e Zn e no caso do PRA: S e Zn, excelente treino, porém na generalização a taxa de acerto não foi tão boa. Uma possível causa desse desempenho pode ser a ocorrência de sobre-treinamento, ou seja, a rede memoriza os dados de treinamento, suas características e ruídos, o que faz com que a classe estimada “passe” pela maioria dos pontos de treinamento, gerando um “bom” treino. Entretanto, isso gera uma piora na capacidade de generalização da rede (Braga et al., 2000).

Previsão de enraizamento

Nas 12 redes pré-selecionadas para a previsão de enraizamento, em geral, todas as variáveis de entradas disponíveis foram importantes e selecionadas pelo algoritmo de otimização (Tabela 6).

A correlação entre os valores estimados e observados indica a força e a direção da relação entre as duas variáveis. Embora não permita inferir diretamente sobre a igualdade entre valores observados e estimados (Campos e Leite, 2009). Isto pode explicar os resultados encontrados para os valores de correlação (valores considerados baixos). Além disso, o teste F entre valores estimados e observados para a previsão de enraizamento indica que a variância dos valores estimados foram estatisticamente iguais à variância dos observados, para todas as redes pré-selecionadas.

Tabela 6: Características e precisão das redes neurais artificiais selecionadas para prever a taxa de enraizamento.

RNA	Arquitetura*	Entradas	Treinamento		Generalização	
			$r_{Y\hat{Y}}$	RMSE%	$r_{Y\hat{Y}}$	RMSE%
1	MLP 11-7-1	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B	0,5193	4,74	0,4968	4,63
2	MLP 9-8-1	P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn	0,6025	4,27	0,4547	4,88
3	MLP 54-4-1	DRIS (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, B)	0,5344	4,78	0,5161	4,58
4	MLP 46-5-1	DRIS (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, B)	0,5466	4,70	0,4293	4,24
5	MLP 52-3-1	IKW (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B)	0,4148	4,93	0,3956	4,99
6	MLP 49-3-1	IKW (P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B)	0,4352	4,79	0,5155	4,68
7	MLP 109-5-1	DRIS (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B) e IKW (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B)	0,5101	4,60	0,4760	4,66
8	MLP 84-4-1	DRIS (N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Fe, Mn, B) e IKW (N, P, K, Ca, Mg, Cu, Mn, B)	0,5138	4,59	0,4710	4,69
9	MLP 7-7-1	T med, T max, T min, UR med, UR max, UR min, Rad tot	0,5807	4,36	0,5671	4,51
10	MLP 8-8-1	T med, T max, T min, UR med, UR max, UR min, Rad tot, Rad fot	0,6150	4,21	0,5314	4,60
11	MLP 17-8-1	N, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Tmed, Tmax, Tmin, URmax, URmin, Rad tot	0,6503	4,12	0,5363	4,74
12	MLP 16-12-1	N, P, K, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Tmax, Tmin, URmax, URmed, Rad tot, Rad foto	0,6295	4,45	0,5541	5,08

*Tipo de RNA: Perceptron de Múltiplas Camadas (MLP), e número de neurônios em cada camada. IKW = Índices Balanceados de Kenworthy. DRIS = Sistema Integrado de Diagnose e Recomendação. Tmed = Temperatura média; Tmax = temperatura máxima; Tmin = temperatura mínima; URmed = Umidade Relativa do Ar média; URmax = Umidade Relativa do Ar máxima; URmin = Umidade Relativa do Ar mínima; Rad tot = Radiação Total; e Rad foto = Radiação Fotossintética Total.

O enraizamento adventício é uma etapa essencial na propagação vegetativa (De Smet et al., 2006), via miniestaquia, de espécies lenhosas economicamente importantes (Fett-Neto et al., 2001). Este é um processo complexo, influenciado por diversos fatores: variáveis climáticas (Fett-Neto et al., 2001; Corrêa e Fett-Neto, 2004; Corrêa et al., 2005); reguladores de crescimento (Wendling e Xavier, 2005; Fogaça e Fett-Neto, 2005); nutrição mineral (Bellamine et al., 1998; Josten e Kutschera, 1999; Schwambach et al., 2005; Francis e Halford, 2006); características genéticas (Wendling e Xavier, 2005); e juvenildade dos propágulos (Wendling e Xavier, 2005). Isto fica comprovado ao analisar as estimativas das redes. Assim, verificou-se que à medida que mais fatores foram adicionados como entrada na configuração das redes, maior a confiabilidade na previsão de enraizamento.

A avaliação estatística das estimativas das redes, no treinamento e na generalização, mostrou que tanto pela correlação quanto pelo RMSE%, as redes pré-selecionadas para cada situação específica apresentaram valores similares. A análise gráfica comprova essa similaridade de desempenho (Figura 1, 2, 3 e 4).

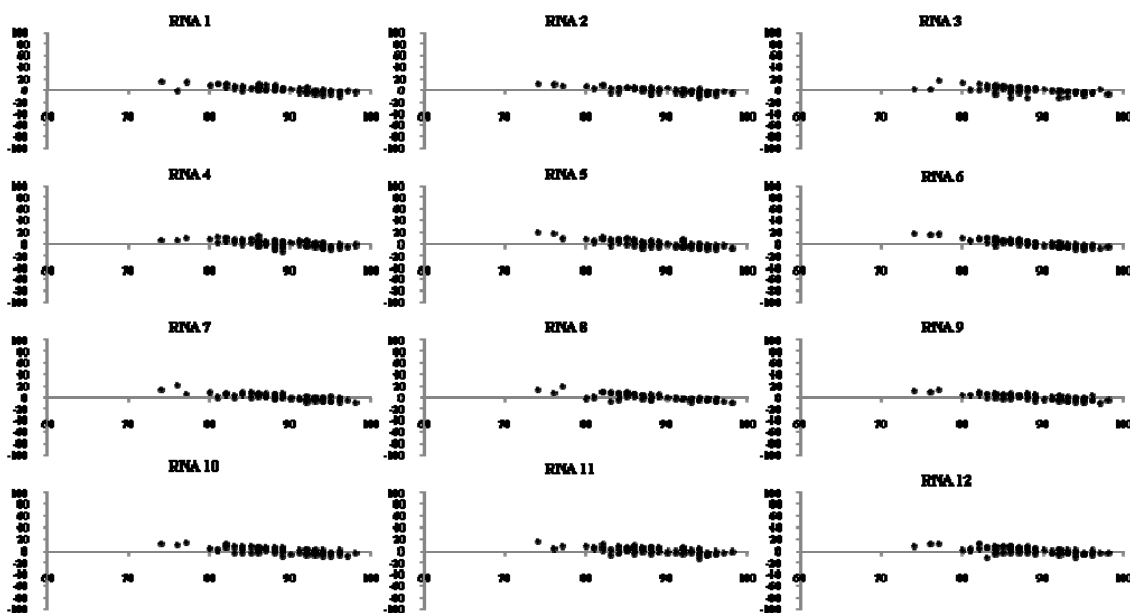


Figura 1 - Dispersão dos erros percentuais (eixo y) em relação aos valores observados de enraizamento (em %, eixo x) no treinamento das redes de 1 a 12.

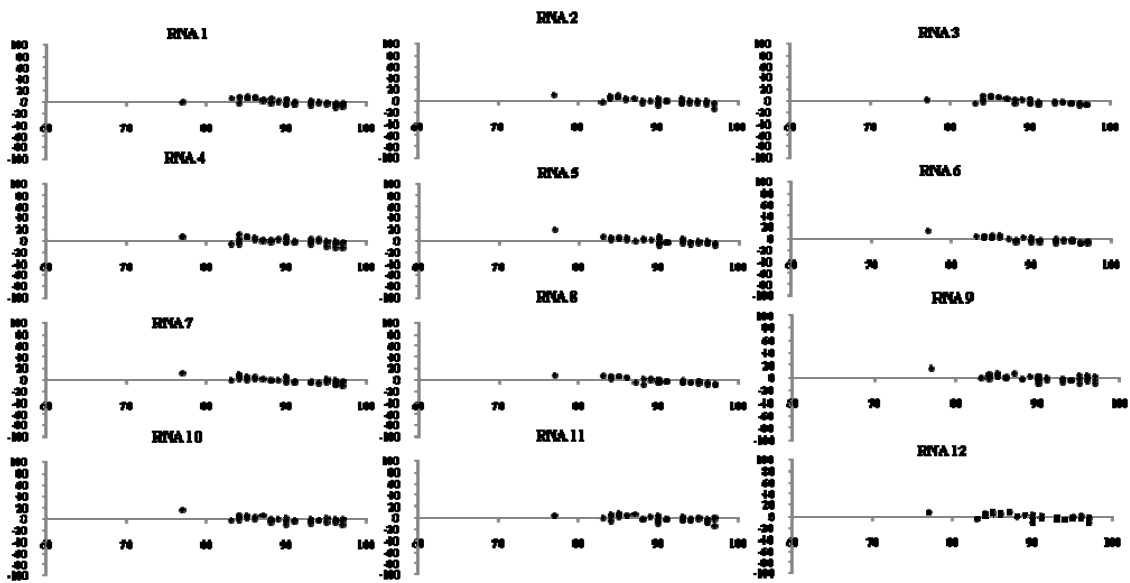


Figura 2 - Dispersão dos erros percentuais (eixo y) em relação aos valores observados de enraizamento (em %, eixo x) na generalização das redes de 1 a 12.

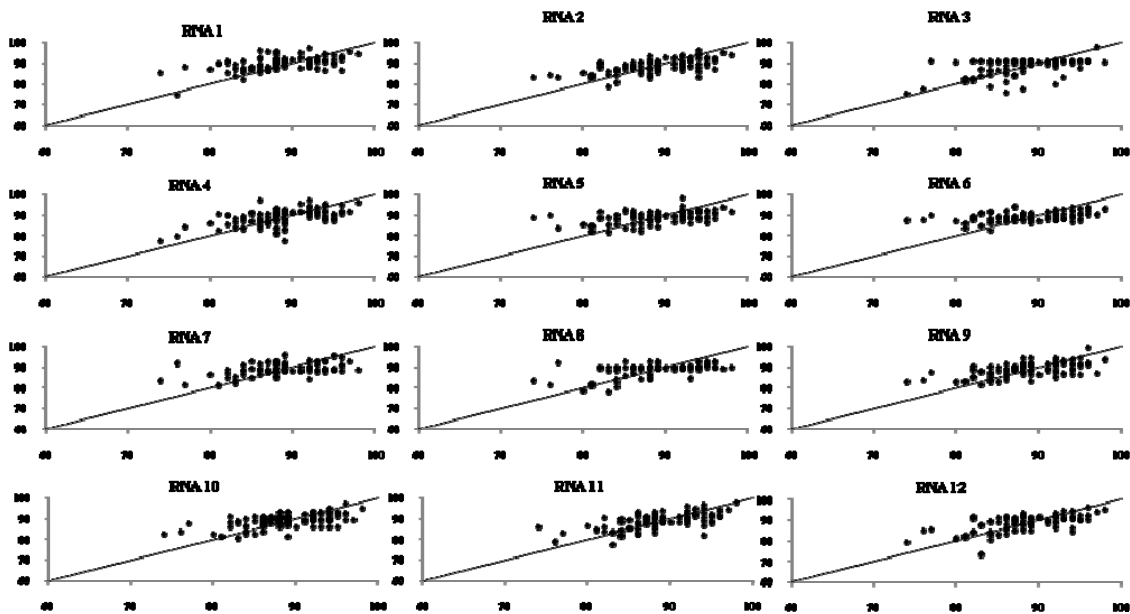


Figura 3 – Valores estimados (em %, eixo y) em relação aos valores observados de enraizamento (em %, eixo x) no treinamento das redes de 1 a 12.

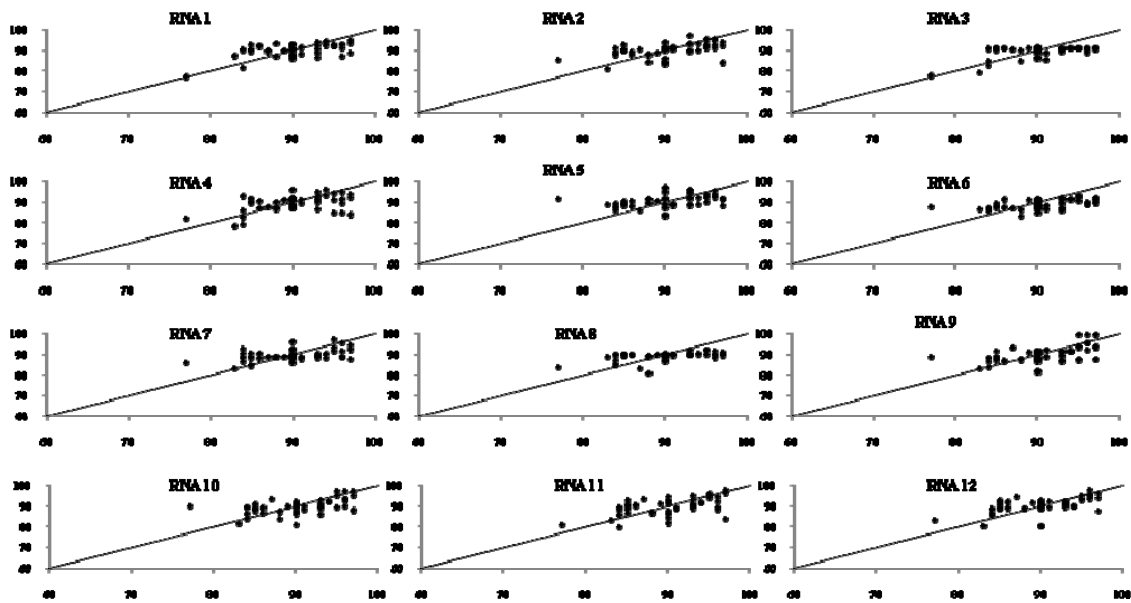


Figura 4 – Valores estimados (em %, eixo y) em relação aos valores observados de enraizamento (em %, eixo x) na generalização das redes de 1 a 12.

No entanto ao analisar o desempenho das 12 redes, verifica-se que as redes nas quais as variáveis climáticas foram selecionadas, ou seja, as redes de 9 a 12, apresentaram resultados superiores às demais redes. Apesar dos resultados similares obtidos para as estimativas das redes (correlação e RMSE%), observou-se, através da análise gráfica da dispersão dos erros percentuais e gráfico da relação entre valores observados e estimados, que a rede 12 foi superior às demais (Figuras 1, 2, 3 e 4). Assim, a rede 12 foi selecionada, para prever o enraizamento das miniestacas de eucalipto cultivadas em minijardim clonal.

Uma possível justificativa para o melhor desempenho da rede 12 é que para prever o enraizamento, esta rede selecionou como variáveis de entrada tanto as variáveis climáticas quanto os teores foliares dos nutrientes, o que representa certa vantagem sob o treinamento das demais redes (exceto a rede 11), tendo em vista os diversos fatores que influenciam o enraizamento, como já mencionado. Possivelmente o treinamento de uma rede, para a qual estivessem disponíveis outros fatores além dos teores nutricionais e variáveis climáticas, resultaria em estimativas superiores às obtidas neste estudo.

Através das redes neurais artificiais foi possível realizar a previsão de enraizamento para as 45 amostras selecionadas para a generalização. Uma única rede foi capaz de modelar diversas variáveis e suas relações não-lineares, o que pode ser considerado como uma grande vantagem operacional aos clássicos modelos de regressão. Estes analisam um ou poucos fatores em cada modelo, e à medida que mais fatores são adicionados ao modelo, mais difícil torna-se o processo. Além disso, com o uso das redes neurais foi realizada a modelagem com diversas variáveis

categóricas (qualitativas) e numéricas (quantitativas). Por esses fatores, dentre outros, as redes neurais artificiais têm apresentado desempenho superior aos modelos de regressão (Haykin, 2001; Bullinaria, 2009).

Os métodos clássicos, no que se refere a modelos de regressão, envolvem ajustes de parâmetros, cuja complexidade aumenta bastante com o número de variáveis de entrada. Em contrapartida, as redes neurais artificiais têm o seu custo computacional de implementação e ajuste de parâmetros crescendo apenas de maneira linear com o número de variáveis de entrada (Braga et al., 2000). Além disso, na técnica de redes neurais artificiais não é necessário o conhecimento da relação entre as variáveis de entrada e saída, pois as redes “descobrem” essas relações através de sucessivos treinamentos. Modelos de redes neurais aprendem com exemplos e fornecem respostas adequadas e rápidas para novas informações não apresentadas previamente.

Conforme os histogramas de frequência percentuais dos erros percentuais das estimativas das redes neurais artificiais (Figuras 5 e 6), a maioria dos erros concentrou-se em $\pm 3,6\%$ no treinamento e $\pm 3,9\%$ na generalização. Considerando um nível de 5% de probabilidade, pode-se inferir que os resultados da previsão de enraizamento com as redes neurais artificiais foram satisfatórios.

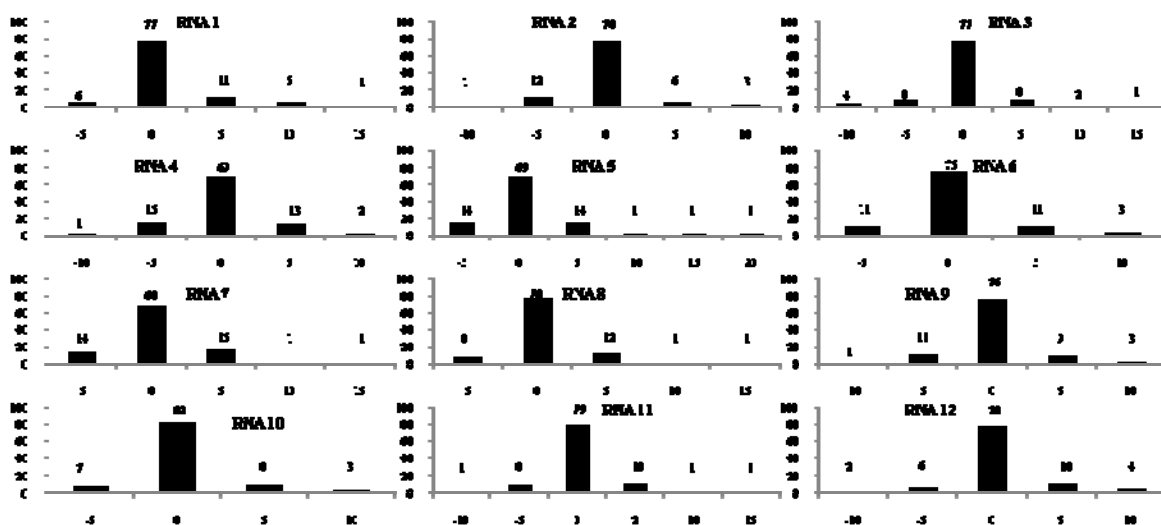


Figura 5 – Frequência percentual (eixo y) dos erros percentuais (eixo x) das estimativas das redes neurais artificiais para a previsão de enraizamento no treinamento das redes de 1 a 12.

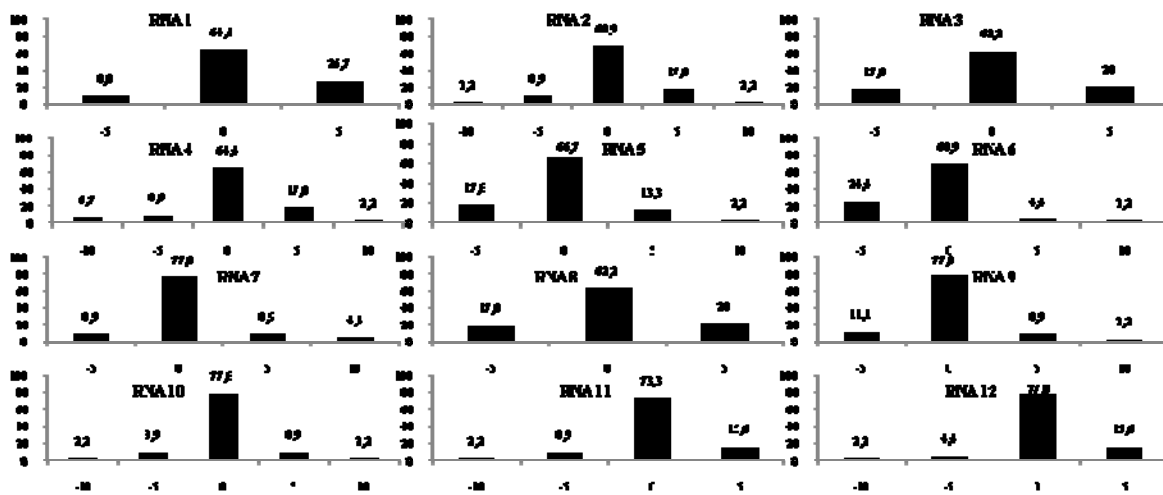


Figura 6 – Frequência percentual (eixo y) dos erros percentuais (eixo x) das estimativas das redes neurais artificiais para a previsão de enraizamento na generalização das redes de 1 a 12.

CONCLUSÕES

O diagnóstico do estado nutricional de minicepas e a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto pode ser feita empregando redes neurais artificiais.

Redes neurais artificiais do tipo *Perceptrons* de Múltiplas Camadas (MLP) são capazes de desempenhar a tarefa de classificação de padrões e aproximação de funções para o diagnóstico do estado nutricional de minicepas e previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; LEITE, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, p.20-25, 1999.

BELLAMINE, J.; PENEL, C.; GREPPIN, H.; GASPAR, T. Confirmation of the role of auxin and calcium in the late phases of adventitious root formation. **Plant Growth Regulation**, v.26, p.191-194, 1998.

BEAUFILS, E.R. **Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS)**: a general scheme for experimentation and calibration based on principles develop from research in plat nutrition. Pietermaritzburg, South Africa, University of Natal, 1973. 132p. (Soil Science Bulletin, 1).

BINOTI, M. L. M. da S. **Redes neurais artificiais para prognose da produção de povoamentos não desbastados de eucalipto**. 2010. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BLAMIRE, P. A. The influence of relative sample size in training artificial neural networks. **International Journal of Remote Sensing**, v.17, n.1, p.223-230, 1996.

BRAGA, A. de P.; CARVALHO, A. P. de L. F. de; LUDEMIR, T. B. N **Neurais Artificiais: Teoria e Aplicações**. Rio de Janeiro, RJ: Editora LTC, 2000. 262 p.

BULLINARIA, J. A. **Introduction to Neural Computation**. Notas de aula. Disponível em: <http://www.cs.bham.ac.uk/~jxb/inc.html>. 2009. Acesso em: 5 out. 2009.

CAMPOS, J. C. C.; LEITE, H. G. **Mensuração florestal: perguntas e respostas**. 3. ed. rev. e ampl. Vicosa: UFV, 2009. 548 p.

CANTARUTTI, R. B.; BARROS, N. F.; MARTINEZ, H. E. P.; NOVAIS, R. F. Avaliação da fertilidade do solo e recomendação de fertilizantes. In. NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. eds. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, p.769-850, 2007.

CHAGAS, C. S.; VIEIRA, C. A. O.; FERNANDES FILHO, E. I.; JÚNIOR, V. de C. Utilização de redes neurais artificiais na classificação de níveis de degradação em pastagens. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n.3, p.319-327, 2009.

CORRÊA, L. R.; FETT-NETO, A. G. Effects of temperature on adventitious root development in microcuttings of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. **Journal of Thermal Biology**, v.29, p.315-324, 2004.

- CORRÊA, L. R.; PAIM, D. C.; SCHAWAMBACH, J.; FETT-NETO, A. G. Carbohydrates as regulatory factors on the rooting of *Eucalyptus saligna* Smith and *Eucalyptus globulus* Labill. **Plant Growth Regulation**, v.45, p.63-73, 2005.
- CUNHA, A. C. M. C. M. da C.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F. de; LEITE, F. P. Influência do estado nutricional de minicepas no enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.4, p.607-615, 2009b.
- DE SMET, I.; VANNESTE, S.; INZÉ, D.; BEECKMAN, T. Lateral root initiation or the birth of a new meristem. **Plant Molecular Biology**, v. 60, p.871-887, 2006.
- FETT-NETO, A. G.; FETT, J. P.; GOULART, L. W. V.; PASQUALI, G.; TERMIGNONI, R. R.; FERREIRA, A. G. Distinct effects of auxin and light on adventitious root development in *Eucalyptus saligna* and *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v.21, p.457-464, 2001.
- FOODY, G. M.; ARORA, M. K. An evaluation of some factors affecting the accuracy of classification by an artificial neural network. **International Journal of Remote Sensing**, v.18, n.4, p.799-810, 1997.
- FOGAÇA, C. M.; FETT-NETO, A. G. Role of auxin and its modulators in the adventitious rooting of *Eucalyptus* species differing in recalcitrance. **Plant Growth Regulation**, v.45, p.1- 10, 2005.
- FRANCIS, D.; HALFORD, N. G. Nutrient sensing in plant meristems. **Plant Molecular Biology**, v.60, p.981-993, 2006.
- FRANÇA, M. M.; FERNANDES FILHO, E. I.; XAVIER, B. T. L. Análise do uso da terra no município de Viçosa-MG mediado por classificações supervisionadas com redes neurais artificiais e MAXVER. **Revista Brasileira de Geografia e Física**, v.2, n.3, p.92-101, 2009.
- GÖRGENS, E. B.; LEITE, H. G.; SANTOS, H. do N.; GLERIANI, J. M. Estimação do volume de árvores utilizando redes neurais artificiais. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1141-1147, 2009.
- HAYKIN, S. **Redes neurais: princípios e prática**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001. 900 p.
- JAIN, A. K.; MAO, J.; MOHIUDDIN, K. M. Artificial Neural Networks: A Tutorial. **Computer**, v.23, n.3, p.31-44, 1996.
- JOSTEN, P.; KUTSCHERA, U. The micronutrient boron causes the development of adventitious roots in sunflower cuttings. **Annals of Botany**, v.84, p.337-342, 1999.
- 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, 1961. p.28-43.
- KURIHARA, C.H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- MEHTÄTALO, L.; MALTAMO, M.; KANGAS, A. The use of quantile trees in the prediction of the diameter distribution of a stand. **Silva Fennica**, v. 40, n. 3, p. 501- 516, 2006.

- MILLS, H. A.; JONES Jr. **Plants analysis handbook II**. 2 ed. Athens,:Micro-Macro-Publishing, 1996. 422p.
- OLDEN, J. D.; JACKSON, D. A. Illuminating the “black box”: a randomization approach for understanding variable contributions in artificial neural networks. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 135-150, 2002.
- ROCHA, J. B. de O. **Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea norte do Espírito Santo e sul da Bahia**. 2008. 52f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- SCHWAMBACH, J.; FADANELLI, C.; FETT-NETO, A. G. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiology**, v.25, p. 487-494, 2005.
- SCHOENINGER, E. R.; KOEHLER, H. S.; BOTELHO, M. F.; WATZLAWICK, L. F.; OLIVEIRA, P. C. de Uso de redes neurais artificiais para mapeamento de biomassa e carbono orgânico no componente arbóreo de uma floresta ombrófila densa. **Ambiência**, v.4, n.2, p.179-195, 2008.
- SILVA, M. L. M. da; BINOTI, D. H. B.; GLERIANI, J. M.; LEITE, H. G. Ajuste do modelo de Schumacher e Hall e aplicação de redes neurais artificiais para estimar volume de árvores de eucalipto. **Revista Árvore**, v.33, n.6, p.1133-1139, 2009.
- STATSOFT, INC. **Statistica** (data analysis software system), version 7. 2007. <www.statsoft.com>
- VALENÇA, M. **Aplicando redes neurais: um guia completo**. Olinda, PE: Ed. Do Autor, 2005. 284p.
- WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, S.; BARROS, N. F.; DIAS, L. E. Três métodos de cálculo do DRIS para avaliar o potencial de resposta à adubação de árvore de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p. 661-666, 1998.
- WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência do ácido indolbutírico e da miniestaquia seriada no enraizamento e vigor de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v.29, p.921-930, 2005.

CONCLUSÕES GERAIS

Foram obtidas normas para métodos que avaliam o balanço (Kenworthy) e o equilíbrio (DRIS).

Normas gerais podem ser usadas para obter valores de referência na diagnose do estado nutricional de minicepas de eucalipto e estimar faixas de suficiência dos teores foliares.

O grau de universalidade das normas varia com os métodos Kenworthy, DRIS e Potencial de Resposta à Adubação e com o procedimento adotado na sua avaliação.

A frequência de diagnósticos concordantes é menor para clones de *E. urophylla*, em comparação com clones de *E. grandis* x *E. urophylla*.

Do ponto de vista do balanço e equilíbrio, os nutrientes mais limitantes por falta nas minicepas de eucalipto foram Ca, Mg, Zn, Cu e B e mais limitantes por excesso foram S, Fe e Mn.

Os resultados permitem concluir que redes neurais artificiais do tipo *Perceptrons* de Múltiplas Camadas (MLP) são capazes de desempenhar a tarefa de classificação de padrões (diagnóstico do estado nutricional de minicepas) e servem para se obter aproximação de funções visando a previsão de enraizamento de miniestacas de eucalipto.