

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**VALORES DE REFERÊNCIA E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO
DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO EUCALIPTO NO BRASIL**

Mônica Pontes Galdino

Doctor Scientiae

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

MÔNICA PONTES GALDINO

**VALORES DE REFERÊNCIA E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO
DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO EUCALIPTO NO BRASIL**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

G149v
2015 Galdino, Mônica Pontes, 1987-
Valores de referência e faixas de suficiência para avaliação
do estado nutricional da cultura do eucalipto no Brasil / Mônica
Pontes Galdino. – Viçosa, MG, 2015.
xii, 51f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Júlio César Lima Neves.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.49-51.

1. Eucalipto - Nutrição. 2. Plantas - Nutrição. 3. Análise
foliar. 4. Método Kenworthy. 5. Sistema integrado
de diagnóstico e recomendação. I. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Solos. Programa de Pós-graduação em
Solos e Nutrição de Plantas. II. Título.

CDD 22. ed. 631.811

MÔNICA PONTES GALDINO

**VALORES DE REFERÊNCIA E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA PARA AVALIAÇÃO
DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO EUCALIPTO NO BRASIL**

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

APROVADA: 3 de junho de 2015

Paulo César Lima

Victor Hugo Alvarez V.

Haroldo Nogueira de Paiva

Carlos Pedro Boechat Soares
Coorientador

Prof. Júlio César Lima Neves
Orientador

À minha mãe (*In memoriam*), que sempre lutou para que eu pudesse
chegar até aqui, a quem devo tudo o que sou e conquistei;
A toda minha família, pelo apoio;
Ao Tarcísio, pelo amor

Dedico

AGRADECIMENTOS

À *Deus* por estar sempre presente na minha vida, e tornar tudo possível.

À Universidade Federal de Viçosa - UFV, principalmente ao Departamento de Solos e ao Curso de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

Ao professor Júlio César Lima Neves, pelos valiosos ensinamentos, pelo exemplo de simplicidade, pelo apoio, amizade e confiança durante esses anos.

Aos professores Víctor Hugo Alvarez V., Carlos Pedro Boechat Soares, Haroldo Nogueira de Paiva, e ao doutor Paulo César Lima pelas valiosas contribuições que muito enriqueceram este estudo no momento da defesa.

A todos os professores do Departamento de Solos, pelos conhecimentos transmitidos.

Aos amigos de Viçosa e aos amigos de curso, por todos os momentos alegres, importantes para encarar todas as dificuldades encontradas pelo caminho, jamais me esquecerei de vocês e de sua importância para a conquista de mais esta etapa.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigada!

BIOGRAFIA

MÔNICA PONTES GALDINO, filha de José Carlos da Silva Pontes e Maria Alice da Silva Pontes (*in memorian*), natural de Viçosa, Minas Gerais, nasceu no dia 01 de março de 1987.

Em fevereiro de 2005 iniciou o curso de graduação em Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa, onde graduou-se em janeiro de 2010. Durante a graduação foi estagiária de pesquisa no departamento de estatística e monitora da disciplina de geologia e pedologia.

Em março de 2010, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pela Universidade Federal de Viçosa, finalizando com a defesa da dissertação em julho de 2011.

Em agosto de 2011 iniciou o curso de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas da Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de tese em junho de 2015.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT	xi
1 – INTRODUÇÃO	1
2 – MATERIAIS E MÉTODOS	8
2.1 – Avaliação do estado nutricional de plantios de eucalipto no Brasil	14
3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
3.1 – Definição da população de referência	16
3.2 – Relacionamento entre a produtividade e a nutrição	18
3.2.1 – Produtividade versus teores de nutrientes	18
3.2.2 – Produtividade versus relações entre teores	21
3.3 – Normas para uso na avaliação do grau de balanço e de equilíbrio.....	22
3.4 – Métodos alternativos para determinação das faixas de suficiência para uso nos métodos Kenworthy e DRIS.	25
3.4.1 – Linha de fronteira	25
3.4.2 – Chance Matemática	34
3.5 – Diferenças entre a Região de Fronteira e Chance Matemática Relativa – “Sesgo” entre as curvas	37
3.6 – Diagnósticos dos plantios de eucalipto com base nos novos valores de referência.....	43
4 – CONCLUSÃO	48
5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

LISTA DE TABELAS

		Página
1	Altitude, latitude e longitude das regiões que compõe o banco de dados.....	9
2	Diferença de produtividade entre a população superior e inferior para um período de crescimento de seis anos, estratificado por períodos de crescimento.....	18
3	Significância do efeito da idade sobre as relações duais entre os nutrientes.....	21
4	Normas dos teores ^{1/} foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B e de suas relações duais, para os métodos Kenworthy ^{2/} e DRIS ^{3/} , para plantios de eucalipto no Brasil, com idades de um a seis anos.....	24/25
5	Equações ajustadas para o crescimento relativo em volume de tronco de árvores de eucalipto (Y) da população de fronteira superior e o índice zIBKW (X) de N, P, K, Zn e B.....	27
6	Faixas de suficiência propostas para os Índices balanceados de Kenworthy (%) de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto, no Brasil, derivados do método da Fronteira, considerando o crescimento relativo em volume de tronco.....	30
7	Teores ^{1/} de N, P, K, Zn e B em folhas de plantios de eucalipto no Brasil correspondentes as faixas de suficiência definidas por Kenworthy, 1961, as faixas proposta neste trabalho, e nas faixas propostas por Fernandes, 2010, definidas com base no crescimento relativo.....	31
8	Relacionamento entre o crescimento relativo (Y) da população de fronteira em função do índice DRIS (X) de cada nutriente.	32
9	Limites das faixas de suficiência propostos para os Índices balanceados de DRIS de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto, derivados do método da Fronteira, aplicado a produtividade relativa em volume.....	34

10	Relacionamento entre o índice padronizado de Kenworthy (zIBK) (x) de cada nutriente e chance de matemática relativa do crescimento relativo em volume de tronco das árvores (y)	35
11	Faixas de suficiência propostos para os índices balanceados de Kenworthy de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto, derivados do método da chance matemática relativa aplicada a produtividade relativa em volume.....	35
12	Equações ajustadas para a chance matemática relativa do crescimento relativo em volume de tronco de árvores (y) de eucalipto no Brasil e o índice DRIS (x) de N, P, K, Zn e B na folha.....	36
13	Faixas de suficiência para os índices DRIS de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto no Brasil, derivados do método da chance matemática relativa aplicada ao crescimento relativo em volume de tronco.....	36
14	Frequência de talhões (%) em cada classe de diagnósticos dos Índices balanceados de Kenworthy, pelo método da fronteira, para os nutrientes N, P, K, Zn, B.....	43
15	Frequência de talhões (%) em cada classe de diagnósticos dos Índices DRIS, pelo método da fronteira, para os nutrientes N, P, K, Zn, B.....	45
16	Frequência de talhões (%) em cada classe de diagnósticos em avaliação conjunta dos Índices DRIS e Kenworthy, pelo método da fronteira, para os nutrientes N, P, K, Zn, B.....	46
17	Exemplo da condição nutricional de um talhão: Teor ^{1/} dos nutrientes e seus respectivos Índice balanceado de Kenworthy (IBK) e DRIS.....	47

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Altura e diâmetro de árvores de eucalipto no Brasil em função da idade nas populações de fronteira superior e inferior.....	16
2	Volume por árvore estimado nas populações superior e inferior de plantios de eucalipto no Brasil em função da idade.....	17
3	Teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) em florestas de alta produtividade, selecionadas pelo método de Linha de Fronteira.....	19
4	Teores foliares de micronutrientes (Cu, Fe, Zn, B e Mn) em florestas de alta produtividade, selecionadas pelo método de Linha de Fronteira.....	20
5	Gráfico de dispersão entre o crescimento relativo em volume de tronco de eucalipto e os valores de zIBKW de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto.....	26
6	Gráfico de dispersão entre o crescimento relativo de eucalipto e índices DRIS para N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto.....	33
7	Crescimento relativo estimado para florestas de eucalipto em função do zIBKW de macro e micronutrientes para população de fronteira superior, e pela chance matemática.....	38
8	Crescimento relativo para florestas de eucalipto em função dos índices DRIS de macro e micronutrientes para população de fronteira superior, e pela chance matemática.....	41
9	Gráfico das Curvas de Resposta Potencial do Crescimento Relativo em Volume de Tronco de Eucalipto no Brasil ao Grau de balanço (zIBKW) e ao Grau de Equilíbrio (iDRIS), para N, P, K, Zn e B, obtidas pelo uso do método da região de fronteira.....	42

RESUMO

GALDINO, Mônica Pontes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2015. **Valores de referência e faixas de suficiência para avaliação do estado nutricional da cultura do eucalipto no Brasil.** Orientador: Júlio César Lima Neves. Coorientadores: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite, Carlos Pedro Boechat Soares.

A avaliação do estado nutricional dos plantios de eucalipto no Brasil, com base em análise foliar, é estratégia capaz de subsidiar o manejo nutricional dessas florestas. Para a adequada utilização dos principais métodos de interpretação dos resultados dessas análises - o método Kenworthy, que avalia o balanço nutricional, e o DRIS, que avalia o equilíbrio, há a necessidade de valores de referência, que, para o eucalipto, no Brasil, são mais disponíveis para plantios jovens, com até cerca de dois anos de idade. Além disso, as faixas de suficiência originalmente propostas para esses métodos não variam com a cultura, nem com o nutriente. Assim sendo, este trabalho teve por objetivos: a) propor método alternativo para determinar a população de referência, ou seja, a população geradora da norma; b) obter normas, para os métodos Kenworthy e DRIS, para uso em plantios de eucalipto no Brasil, ao longo de toda a rotação; c) obter as faixas de suficiência para avaliação do estado nutricional desses plantios. Para isso, foi confeccionado banco de dados contendo teores foliares de macro e micronutrientes e crescimento de plantios de eucalipto, ao longo da rotação, de várias empresas, localizados em várias regiões do país e constituídos por vários materiais genéticos. A população de referência foi obtida com base na abordagem da linha de fronteira superior do relacionamento entre o crescimento em função da idade. Na população de árvores ótimas quanto ao crescimento em volume de tronco em cada idade foi investigada a condição nutricional. As normas nutricionais foram obtidas nessa população. A diagnose do estado nutricional dos plantios, pelos métodos Kenworthy e DRIS, foi realizada com o auxílio do software Nutreelyptus, parametrizado com as normas obtidas neste trabalho. A abordagem da linha de fronteira (LF) e a da Chance Matemática Relativa foram utilizadas para a obtenção das faixas de suficiência, quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, para N, P, K, Zn e B. A perda de produtividade dos plantios de eucalipto no Brasil, em volume de tronco, em relação as produtividades

atingíveis decresce com a idade dos povoamentos, variando de 97,8 % com 1,5 ano a 49,6 % aos 6 anos. Os plantios de eucalipto mais produtivos ao longo da rotação têm constância da condição nutricional, quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, cujos valores ideais de teores e de relações duais entre teores são apresentados. Foram obtidos valores de referência para a avaliação do estado nutricional de plantios de eucalipto no Brasil ao longo da rotação. Foram obtidas faixas de suficiência para a interpretação do estado nutricional de plantios de eucalipto no Brasil, ao longo da rotação, quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, com base no crescimento relativo. As faixas de suficiência obtidas são assimétricas quanto aos seus limites, diferentemente do tradicionalmente proposto na literatura. A avaliação do estado nutricional, considerando balanço e equilíbrio, com base nas normas e faixas de suficiência propostas neste trabalho, pode subsidiar o aprimoramento do manejo da nutrição dos plantios de eucalipto no Brasil.

ABSTRACT

GALDINO, Mônica Pontes, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June 2015. **Reference values and nutrients sufficiency ranges for nutritional status assessment of eucalyptus plantation in Brazil.** Adviser: Júlio César Lima Neves. Co-advisors: Nairam Félix de Barros, Hélio Garcia Leite, Carlos Pedro Boechat Soares.

The assessment of nutritional status of eucalyptus plantations in Brazil based on leaf analysis is a strategy to subsidize the nutritional management of these forests. The Kenworthy method that evaluates the nutritional balance, and the DRIS, which evaluates the equilibrium are the main methods of interpreting the results of such analysis. For proper use of these methods we need to have reference values. For eucalyptus in Brazil these values are more available for young plantations, with up to two years old. Furthermore, nutrient sufficiency ranges originally proposed for these methods do not vary with the culture or the nutrient. Therefore, this study aimed to: a) suggest an alternative method for determining the reference population, the population for norm generator; b) obtain norms for Kenworthy and DRIS methods for use in eucalyptus plantations in Brazil throughout the rotation; c) get the nutrients sufficiency ranges for evaluation of the nutritional status of these plantations. For this, we made a database containing foliar levels of macro and micronutrients and growth of eucalyptus plantations throughout the rotation of various companies located in various regions of the country as well as various genetic materials. The reference population was obtained based on the approach of the upper boundary line of the relationship between growth and age. The nutritional status was investigated in the population of trees with great increases in trunk volume at every age. Nutritional standards were obtained in this population. The diagnosis of the nutritional status of the plantations, by Kenworthy and DRIS methods, was carried out with the help of Nutreelyptus software, parameterized with standards obtained in this work. The boundary line of approach (LF) and the Relative Mathematical Chance were used to obtain the sufficiency ranges (degree of balance and equilibrium) for N, P, K, Zn and B. The loss of productivity of eucalyptus plantations in Brazil (in trunk volume) in relation to the maximum possible productivity decreases with age of stands, ranging from 97.8% at 1.5 years to 49.6%

at 6 years old. The eucalyptus plantations more productive throughout the rotation have constancy of the nutritional condition (the degree of balance and equilibrium) whose ideal values of contents and of dual relationships between contents are presented. Reference values were obtained to assess the nutritional status of eucalyptus plantations in Brazil throughout the rotation. Sufficiency ranges (the degree of balance and equilibrium) were obtained for the interpretation of the nutritional status of eucalyptus plantations in Brazil throughout the rotation based on the relative growth. Sufficiency ranges obtained have asymmetric limits, unlike the traditionally proposed in the literature. The assessment of nutritional status (considering balance and equilibrium) based on the norms and sufficiency ranges proposed in this paper can support the improvement of the management of nutrition of eucalyptus plantations in Brazil.

VALORES DE REFERÊNCIA E FAIXAS DE SUFICIÊNCIA NUTRICIONAL PARA AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DA CULTURA DO EUCALIPTO NO BRASIL

1 – INTRODUÇÃO

Estima-se que a área plantada com espécies do gênero *Eucalyptus*, no Brasil, atinge 5,47 Mha (SNIF, 2015), com maior concentração de plantios nos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Bahia, Mato Grosso do Sul, Rio Grande do Sul, Espírito Santo, Paraná e Maranhão (ABRAF, 2013).

Ao longo do tempo a produtividade das florestas de eucalipto no Brasil muito se elevou, passando de 15 a 20 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aos 8 anos, nas décadas de 60 e 70, para 35 a 38 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, em termos de média geral atualmente, existindo áreas onde há possibilidade de se atingir 55 a 60 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ aos 7 anos.

A elevação da produtividade de plantios de eucalipto no Brasil, e sua manutenção em níveis elevados, importante para a competitividade do setor (Neves, 2000), é dependente de um manejo adequado. Esse manejo compreende uma série de práticas ou de técnicas que visam, direta ou indiretamente, aumentar a disponibilidade e, ou, a eficiência de uso dos recursos água e nutrientes pelas plantas (Neves et al., 2008).

A análise de tecido, por exemplo a análise foliar, por refletir os fluxos de nutrientes do solo para as plantas (Silva, 2001), constitui-se em estratégia importante para a avaliação do estado nutricional das culturas e para subsidiar ajustes no manejo nutricional.

As premissas para a utilização adequada da análise foliar como ferramenta de diagnose nutricional, propostas por Malavolta et al. (1997), são: a) deve existir uma relação direta entre o suprimento de nutrientes e o crescimento ou a produção, ou seja, um solo mais fértil, ou mais adubado, deve possibilitar uma colheita maior; b) com o aumento do fornecimento do nutriente, seu teor na folha deve aumentar; c) com o aumento do teor foliar a produção deve aumentar. Numa análise dessas premissas, vê-se claramente a importância atribuída à produtividade, no sentido de ser necessário haver relacionamento desta com o teor do nutriente na folha.

No entanto, sabe-se que boa nutrição é condição necessária, mas não suficiente, para a obtenção de alta produtividade, em razão da dependência desta em relação a vários outros fatores de produção, de natureza não nutricional. Nesse sentido, Bataglia et al. (1992) alertam para o fato de que a relação entre o teor de um dado nutriente e a produção de matéria seca pode não ser simples nem direta.

A folha é o órgão mais frequentemente utilizado nas análises de tecidos por ser fisiologicamente mais ativo, onde ocorre a assimilação de C e a produção de assimilados na fotossíntese, e, assim, pela maior correlação entre os teores dos nutrientes e a produtividade das culturas (Cantarutti et al., 2007; Everhuis e Waard, 1980). Além disso, há muito maior disponibilidade, na literatura, de padrões para a comparação dos resultados das análises foliares do que para outros órgãos. Plantas com maior área foliar e melhor qualidade nutricional desta superfície fotossintetizante geralmente são mais produtivas. Em eucalipto, a inclusão, num modelo de regressão múltipla, dos teores de nutrientes nas folhas aumentou significativamente, a capacidade preditiva quanto à produtividade de madeira, comparativamente a consideração apenas da área foliar (Lourenço, 2009).

Dos vários métodos ou procedimentos empregados para interpretar os resultados da análise foliar, tem se destacado o método dos índices balanceados de Kenworthy (Kenworthy, 1961) e o sistema integrado de diagnose e recomendação – DRIS (Beauflis, 1973), métodos que permitem a avaliação do grau de balanço (relacionado ao aspecto quantitativo), e do grau de equilíbrio nutricional (relacionado ao aspecto qualitativo da nutrição), respectivamente.

A avaliação do grau de balanço pelo método de Kenworthy envolve considerar um nutriente por vez, ou seja, avaliar os nutrientes tomados isoladamente, por meio do desvio relativo (em %) do teor de um dado nutriente em relação ao teor ótimo, considerando a variabilidade do teor do nutriente na população de referência geradora da norma, resultando, para cada nutriente, num índice balanceado.

Embora exista o entendimento de que o enfoque utilizado nesse método seja univariado, como o teor de um nutriente no tecido é resultante do quociente entre a massa do nutriente e a massa de matéria seca do tecido, na realidade, em essência, o teor é uma variável bivariada.

Dessa forma, parece interessante investigar os fatores que influenciam no numerador e no denominador desta fração, que é o teor foliar de um dado nutriente:

No numerador, tem-se a quantidade do nutriente na folha e no denominador a massa de matéria seca da folha. Se uma determinada quantidade de nutriente está presente na folha, ele foi absorvido e alocado nos vários órgãos da planta, parte ficando acumulada na folha. Para que um nutriente seja absorvido do solo pelas raízes, evento que é dependente das propriedades de absorção das raízes, ele deve se encontrar na zona de absorção da raiz absorvente, para tanto além de haver disponibilidade do nutriente no solo (naturalmente fértil ou fertilizado), faz-se necessário que os processos de transporte do nutriente na solução do solo (difusão e fluxo em massa) atuem.

Já o denominador, ou seja, a massa de matéria seca foliar é dependente de todos os fatores e processos que influem no ganho de C por intermédio da fotossíntese, podendo-se destacar o efeito do clima, da própria nutrição, e dos padrões de alocação do C assimilado no componente folha. Pode-se concluir dessa análise, que o teor de um nutriente no tecido reflete e sintetiza os efeitos de vários fatores e processos de elevada complexidade.

No entanto, na visão de Holland (1966), há aumento na consistência da interpretação das análises de tecido à medida que o enfoque univariado, o baseado no teor (aparentemente esse autor tinha uma concepção restrita acerca do significado do teor), é ampliado, de modo a considerar as relações entre nutrientes, dois a dois, ou seja, relações duais (enfoque bivariado) e, assim, progressivamente, as relações ternárias até idealmente abranger, mediante enfoque multivariado, toda a estrutura de variação da composição nutricional.

O DRIS, proposto por Beaufils a partir de seus trabalhos na década de 50, no Vietnã e no Camboja, com seringueira, tem como uma das principais premissas o fato de as relações entre dois nutrientes serem melhores indicadores do estado nutricional da planta, de que os teores de nutrientes considerados separadamente (Beaufils, 1973; Jones, 1981).

Na realidade, pela concepção original de Beaufils, o DRIS abrangeria mais do que as relações duais entre nutrientes das plantas, considerando, também, fatores ambientais e resultados de análises de solo, de modo a se constituir, de fato, em um sistema integrador. Contudo, como aponta Black (1992), o conceito de relações entre nutrientes tem sido considerado nos trabalhos relativos ao DRIS, que tem sido utilizado apenas na sua vertente diagnóstica.

Esses dois métodos, Kenworthy e DRIS, foram desenvolvidos presumindo a existência de normalidade quanto à distribuição de frequência dos teores e das relações duais entre teores na população utilizada para se obter os valores de referência. Assim, os valores de referência (as normas) para uso nesses métodos são: uma medida de posição de tendência central (a média do teor do nutriente no Kenworthy, a média das relações duais entre os teores dos nutrientes no DRIS) e um medida de dispersão em torno da média (desvio padrão ou coeficiente de variação dos teores no Kenworthy e das relações duais no DRIS). A incorporação, no cálculo dos respectivos índices de balanço e de equilíbrio, da variabilidade existente na população de referência, explica muito do bom desempenho desses métodos.

Não obstante, a utilidade de se avaliar o grau de balanço e o grau de equilíbrio, em separado, a utilização conjunta das informações fornecidas por esses dois métodos, Kenworthy e DRIS, conforme o procedimento proposto por Rocha (2008) possibilita a avaliação conjunta do estado nutricional, harmonizando balanço e equilíbrio.

Quanto à população de referência, o que tem sido mais usual, nos trabalhos mais recentes, é que seja a de alta produtividade, pois se a produtividade é alta tem-se que a nutrição é adequada bem como o manejo e os demais fatores de produção e o manejo. Nesta situação, o efeito da boa nutrição sobre a produtividade não é mascarado por limitações de ordem não nutricional. Alguns aspectos adicionais também podem explicar a escolha das lavouras de alta produtividade para constituir a população de referência: a) os teores de nutrientes nas lavouras de alta produtividade estão mais próximos dos ótimos fisiológicos, como bem observado por Wadt (1996); b) a menor variabilidade dos teores e das relações duais entre teores nessas lavouras, o que resulta em maior grau de precisão das normas e assim em diagnósticos mais sensíveis; c) à medida em que a produtividade é maior a distribuição de frequência dos teores e de suas relações duais se conformam mais à normalidade.

Contudo, Beaufils (1973) considera que a população de referência deva refletir a variabilidade dos teores de nutrientes, e por isso recomenda as lavouras de média produtividade para constituir a população a ser escolhida para gerar as normas.

Pode-se também focar essa questão sob ótica mais prática, com base tanto na produtividade atual da população de interesse como na produtividade que se pretende obter. Assim para um dado cenário, no qual a produtividade média do conjunto de lavouras já é elevada, faz sentido considerar as lavouras de média produtividade (ou até mesmo, toda a população) como a população de referência; contrariamente, num cenário em que a produtividade média das lavouras não é satisfatória, parece bem mais razoável a escolha da sub-população de alta produtividade.

Essa discussão sobre o estabelecimento da população de referência é importante pois poder-se-ia pensar na existência de uma relação entre o grau de universalidade das normas nutricionais e o critério de escolha dessa população. Nesse sentido, em plantios jovens de eucalipto, não houve influência do nível de produtividade da população de referência sobre o grau de universalidade das normas DRIS (Ávila, 2012).

Um elevado grau de universalidade das normas nutricionais, pelo menos das relações duais, foi a base da proposição do uso dessas relações para fundamentar o método DRIS (Beaufils, 1973). Segundo esse autor, as relações duais apresentariam maior estabilidade em diferentes situações, e assim seriam universais, não variando com fatores tais como, cultura, idade e região. Entretanto, em vários trabalhos com o DRIS, para o eucalipto (Wadt et al., 1998b; Silva et al., 2005; Rocha, 2008, Fernandes, 2010), concluiu-se que as normas, ou seja, as relações duais na população de referência, variam com o sítio, com o material genético, com a idade e com o manejo dos plantios, e, ainda, esses trabalhos recomendam que sejam utilizadas normas específicas para maior acurácia dos diagnósticos. Nesse sentido, para a cana-de-açúcar, Reis Jr & Monnerat, 2002 consideram que o uso de normas DRIS obtidas para outro local de cultivo só pode ser feito se os teores de nutrientes nas lavouras sob diagnose forem semelhantes àqueles das lavouras em que foram obtidas as normas.

Aspecto interessante nessa discussão é que em todos esses trabalhos, inclusive no de Ávila (2012), a população de referência foi constituída pelas lavouras ou talhões de alta produtividade, definida também com base no critério de ser acima da média ou acima da média mais uma fração do desvio padrão. Assim, nesses trabalhos as normas nutricionais não refletem a condição nutricional das

lavouras ótimas quanto à produtividade, mas sim de uma população de boas lavouras quanto à produtividade.

A identificação de lavouras ótimas quanto à produtividade, numa ampla população pode ser feita com base no conceito de linha de fronteira, que, quando aplicado a amplas bases de dados de lavouras comerciais, permite que se obtenha o efeito isolado de um dado fator de produção (Mediavilla & Escudero, 2003). Assim, ao se relacionar num gráfico a produtividade com o teor de um dado nutriente, ou uma dada relação dual, percebe-se a existência de uma região de pico, associada a um intervalo de valores do teor do nutriente ou da relação dual, sendo que o pico de produtividade corresponde a um certo teor ou relação dual que pode ser entendido como o valor ótimo.

A explicitação do método de linha de fronteira foi feita por Webb (1972), método em que as linhas são traçadas com base em visualização gráfica, ou matematicamente (Schnug et al ,1996). O método da linha de fronteira tem sido utilizado na economia sob o rótulo de análise de envoltório, sendo também utilizado na área de fertilidade do solo - por exemplo na determinação de valores críticos de nutrientes no solo para soja (Evanylo & Sumner, 1987), na área de física do solo, por exemplo, na determinação de faixas de suficiência do índice S, indicativo da qualidade física do solo para o eucalipto (Oliveira, 2010) e na área de diagnose nutricional com base em análise foliar da cultura do milho (Walworth et al., 1986) e em plantios jovens de eucalipto (Fernandes, 2010; Borges, 2012).

Pode-se propor que nas lavouras ótimas quanto à produtividade, a condição nutricional seja também ótima, e que as normas a serem usadas para a avaliação do grau de balanço e de equilíbrio, nos métodos Kenworthy e DRIS, respectivamente, sejam constituídas pelos valores de teores e suas relações duais existentes nessas lavouras, cabendo investigar se as normas assim obtidas apresentam alto grau de universalidade quanto às condições dos sítios florestais, aos materiais genéticos e idade dos plantios.

Apesar da existência de vários trabalhos com esforços para gerar normas para interpretação dos índices Kenworthy e DRIS e para plantios de eucalipto, esses trabalhos são concentrados na fase inicial de crescimento, (Rocha, 2008 com plantios de seis meses; Fernandes, 2010 com plantios inferiores a 2,3 anos) ou na idade de corte (Wadt, 1998a, Wadt, 1998b, Silva et. al., 2005) sendo que em todos

os trabalhos a população de referência não foi constituída apenas lavouras ótimas quanto à produtividade, e abrangem poucas regiões de cultivo no país. Neste ponto de vista, para as idades intermediárias de plantios de eucalipto, e para grande parte das regiões de cultivo de eucalipto no país, não existem normas para a interpretação dos resultados de análise foliar.

Uma vez assim obtidas as normas, e os diagnósticos, a produtividade pode ser relacionada aos valores dos índices de balanço e de equilíbrio, também com base em linhas de fronteira, de modo que se possa estabelecer as faixas de suficiência nutricional para a cultura em específico. Esse procedimento visa aprimorar as faixas propostas por Kenworthy e por Beaufils, para a avaliação do grau de balanço e de equilíbrio da cultura do eucalipto, respectivamente.

Neste contexto, este estudo foi realizado com objetivo de: a) propor um método alternativo para determinar a população de referência; b) gerar normas DRIS e Kenworthy a partir dessa população, que possam ser utilizadas para toda a rotação de plantios de eucalipto, nas principais regiões produtoras; c) obter as faixas de suficiência para avaliação do estado nutricional quanto ao grau de balanço e de equilíbrio desses plantios.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho foi confeccionado um banco de dados de teores de nutrientes em folhas de eucalipto e crescimento das árvores (expresso pela altura - HT e diâmetro a 1,3 m - dap), provenientes de plantios comerciais de eucalipto, de diversas empresas florestais, representativos de várias regiões do país (Tabela 1).

Os teores de nutrientes foram determinados em amostras de folhas coletadas em talhões comerciais de plantios de eucalipto (abrangendo plantios de 0,4 a 7,0 anos), em campanhas de monitoramento nutricional realizadas pelas empresas. As amostras foliares foram obtidas no terço médio da copa, terço médio dos ramos, de 10 a 15 árvores, escolhidas aleatoriamente nos talhões. As amostras de folhas foram secas, moídas, mineralizadas e analisadas, conforme métodos rotineiros, obtendo-se os teores de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B.

Na primeira etapa do trabalho foi realizada a verificação da consistência dos dados. Dessa forma, foram considerados no trabalho os teores de nutrientes compreendidos no intervalo entre a média \pm cinco desvios-padrão. Após essa etapa na base de dados constavam 9 608 registros de teores foliares.

Como os registros do banco de dados continham dados de árvores muito jovens, para as quais não é usual a mensuração do dap, foi utilizada a variável altura para definir a produtividade das árvores nos talhões. Os valores de altura das árvores foram relacionados por meio de gráficos de dispersão em função da idade das árvores.

Na nuvem de pontos obtida foram selecionados os pares (Idade (ano), Altura (m)) correspondentes às fronteiras superior e inferior do relacionamento (populações de fronteira). Esses procedimentos foram realizados com o auxílio do aplicativo computacional "Boundary Fit", desenvolvido na UFV. As árvores que constituíam a população de fronteira superior foram utilizadas para compor a população de referência.

Tabela 1: Altitude, latitude e longitude das regiões que compõe o banco de dados.

Região	Estado	Altitude (m)	Latitude (Sul)	Longitude (Oeste)
Sul da Bahia	BA	7 a 189	16° 22' a 18° 5'	39° 34' a 39° 33'
Aracruz	ES	69	19° 49' 12"	40° 16' 22"
São Mateus	ES	36	18° 42' 58"	39° 51' 21"
Açailândia	MA	240	04° 56' 49"	4° 56' 49"
Barão de Cocais	MG	791	19° 56' 13"	43° 28' 20"
Buritizeiro	MG	500	17° 21' 03"	44° 57' 43"
Ipaba	MG	213	19° 24' 50"	42° 25' 08"
João Pinheiro	MG	765	17° 44' 26"	46° 10' 27"
Montes Claros	MG	678	16° 44' 06"	43° 51' 43"
Nova Era	MG	526	19° 45' 00"	43° 02' 16"
Rio doce	MG	378	20° 14' 31"	42° 54' 25"
Rio Pardo de Minas	MG	794	15° 36' 36"	42° 32' 24"
Sabinópolis	MG	707	18° 39' 57"	43° 05' 02"
Santa Bárbara	MG	732	19° 57' 34"	43° 24' 55"
Sul de Minas Gerais	MG			
Três Marias	MG	569	18° 12' 21"	45° 14' 31"
Vale do Paraíba	MG	567 a 600	23° 1' a 23° 18'	45° 33' a 45° 57'
Virginópolis	MG	743	18° 49' 22"	42° 42' 14"
Três lagoas	MS	319	20° 45' 04"	51° 40' 42"
Telêmaco Borba	PR	741	24° 19' 26"	50° 36' 57"
Pelotas	RS	7	31° 46' 19"	52° 20' 34"
Agudos	SP	580	22° 28' 08"	48° 59' 16"
Botucatu	SP	840	22° 53' 09"	48° 26' 42"
Capão Bonito	SP	730	24° 00' 21"	48° 20' 58"
Itapetininga	SP	670	23° 35' 30"	48° 03' 11"
Lençóis paulistas	SP	505	22° 35' 56"	48° 48' 00"
Salto	SP	555	23° 12' 03"	47° 17' 13"
Ibitira	MG	657	19° 25' 03"	45° 09' 11"

Na sequência, com o auxílio dos aplicativos “Curve Expert 1.4” e “Table Curve 2D” foram ajustadas equações de regressão relacionando a altura das árvores com a idade, nas populações de fronteira, selecionando-se a equação que melhor se ajustava aos dados, pelos critérios: significado biológico da equação, na significância da equação com base no Quadrado médio do Independente da Regressão, e no R^2 .

Uma vez selecionadas as árvores da região de fronteira, foram obtidas equações para o dap destas árvores em função da idade.

A partir das equações selecionadas para a altura e para o diâmetro foram estimados o volume de tronco (madeira com casca) por árvore, utilizando a equação: $\text{volume} = (\pi \text{dap}^2/4) \cdot \text{HT} \cdot f$; em que f é o fator de forma, considerado como 0,43. O fator de forma converte o volume cilíndrico que se obtém usando a altura (HT) e o diâmetro à altura do peito (dap) no volume sólido da árvore.

Essa abordagem possibilitou investigar as diferenças de produtividade entre as populações de fronteira selecionadas. O volume estimado para as árvores da fronteira superior foi utilizado, ainda, para o cálculo do crescimento relativo em volume de tronco. Como as árvores com maior volume ao longo das idades estavam presentes neste conjunto de árvores, atribuiu-se o valor 100% para o maior volume estimado, em cada idade, sendo os valores de crescimento relativo (%) dos demais talhões calculados proporcionalmente.

Para as árvores dessa fronteira superior, os teores foliares dos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B) foram relacionados com a idade, mediante equações de regressão, com o intuito de obter o padrão de variação desses teores.

Para testar estatisticamente o efeito da idade sobre o teor dos nutrientes, a população de fronteira superior foi estratificada em classes de idade, considerando uma amplitude de meio ano para cada classe, e assim submetida à análise de variância.

As normas para o método Kenworthy foram obtidas na população de referência selecionada pela fronteira superior, em que foram determinados a média e a variabilidade (coeficiente de variação) dos teores foliares de nutrientes, conforme Kurihara (2004). Foram determinados, também, os quocientes entre o teor de um dado nutriente em relação aos teores de cada um dos demais nutrientes, ou seja, as relações duais, bem como as suas respectivas variabilidades, expressas pelo desvio-padrão, que constituíram as normas DRIS (Beaufils, 1973).

A diagnose do estado nutricional dos talhões que compõem o banco de dados foi realizada com auxílio do software Nutreelyptus, parametrizado com as normas obtidas neste trabalho, utilizando o método dos Índices Balanceados de Kenworthy, para avaliar o grau de balanço, e o dos índices DRIS, para avaliar o grau de equilíbrio.

Os Índices Balanceados de Kenworthy (IBK) dos nutrientes foram determinados para cada talhão integrante da base de dados. Foram calculados os índices P, I e B (todos expressos em porcentagem), independentemente do teor do nutriente na amostra (Y_i) ser maior ou menor do que o teor médio da população de referência, considerado padrão (\bar{Y}), de acordo a apresentação modificada da fórmula apresentadas por Kurihara (2004):

$$P = (Y_i / \bar{Y}) 100 \quad \text{eq. 1}$$

$$I = [(Y_i - \bar{Y}) CV] / \bar{Y} \quad \text{eq. 2}$$

$$B = P - I \quad \text{eq. 3}$$

Em que: P = Proporção entre o teor do nutriente na amostra (Y_i) e o teor padrão (\bar{Y}); I = Influência da variabilidade; CV = Coeficiente de variação do teor do nutriente na população de referência; B = Índices Balanceados de Kenworthy.

Para transformar a unidade dos Índices Balanceados de Kenworthy em unidades de desvio padrão, os IBK para cada nutriente e talhão, obtidos pela equação 3, foram transformados em variáveis normais reduzidas (z) de acordo com a dedução proposta por Alvarez V. e apresentada por Kurihara (2004):

$$z = \frac{B - 100}{CV - \frac{CV^2}{100}} \quad \text{eq. 4}$$

Em que: CV = coeficiente de variação do teor do nutriente na população de referência.

Quanto aos índices DRIS, inicialmente foi calculado, conforme Jones (1981), o afastamento entre o valor de cada relação dual numa dada lavoura sob diagnose e a média da respectiva relação dual na população de referência, levando-se em conta, também, o respectivo desvio-padrão, ou seja, um afastamento estudentizado, expresso em unidades de desvio-padrão, as funções DRIS, conforme apresentado nas equações 5 e 6 (Alvarez V. e Leite, 1999).

Pelo cálculo da média aritmética das funções DRIS, considerando as relações na forma direta (A/B) e inversa (B/A), foi definido o índice DRIS (I_A), de acordo com Alvarez V. e Leite (1999):

$$z(A/B) = [(A/B) - (a/b)] / s \quad \text{eq. 5}$$

$$I_A = [z(A/B) - z(B/A) + z(A/C) - z(C/A) + \dots + z(A/N) - z(N/A)] / 2(n-1) \quad \text{eq. 6}$$

Em que: $z(A/B)$ = afastamento estudentizado entre o valor da relação dual dos nutrientes A/B na população sob diagnose e a norma; A/B = relação dual entre os teores dos nutrientes A e B no talhão sob diagnose; a/b = média das relações duais entre os teores dos nutrientes A e B na população de referência; s = desvio-padrão das relações duais dos nutrientes A e B na população de referência; I_A = índice DRIS do nutriente; n = número de afastamentos estudentizados considerados.

Para ilustrar o desenvolvimento de uma estratégia capaz de conferir maior grau de significado biológico aos índices balanceados de Kenworthy e aos índices DRIS, entendido com base no relacionamento com a produtividade dos plantios, foram considerados apenas os nutrientes N, P, K, Zn e B, escolhidos por serem aqueles cujas fontes fertilizantes são geralmente as de maior custo dentre os mais utilizados na fertilização de plantios de eucalipto no Brasil.

Obtidos os índices padronizados de Kenworthy em unidades de desvio padrão, os zIBK, os valores de crescimento relativo em volume de tronco (%) (y), por talhão, foram relacionados por meio de gráficos de dispersão ao respectivo índice zIBK (x) obtido para cada nutriente. Na nuvem de pontos obtida foram selecionados os pares xy correspondentes à fronteira superior e à fronteira inferior do relacionamento. Esses relacionamentos foram feitos também utilizando os índices DRIS.

Esses procedimentos foram realizados com o auxílio do aplicativo computacional "Boundary Fit". Em seguida, utilizando o aplicativo "Table Curve 2D" foram ajustadas equações relacionando o crescimento relativo aos valores de zIBK, como também aos índices DRIS de cada nutriente, considerando apenas a fronteira superior; selecionando-se a equação que melhor se ajustava aos dados, pelos

critérios: significância da equação com base no Quadrado médio do Independente da Regressão, o significado biológico da equação e o R^2 .

As equações assim obtidas para os zIBK são indicativas da resposta do crescimento relativo (CR) apenas ao grau de balanço do nutriente considerado, não sendo influenciadas pelo grau de balanço dos demais nutrientes, nem por outros fatores de produção, assim, elas podem ser denominadas de curvas de resposta potencial ao grau de balanço do nutriente estimadas (CRPBNE).

As equações obtidas para os índices DRIS indicam a resposta apenas ao grau de equilíbrio do nutriente considerado frente aos demais nutrientes, também não sendo influenciadas pelo grau de balanço nem por outros fatores de produção, logo, podem ser denominadas de curvas de resposta potencial ao grau de equilíbrio do nutriente estimadas (CRPENE).

Para cada nutriente estimou-se a faixa dos índices balanceados de Kenworthy e do índice DRIS para a classe deficiente ($CR < 70\%$), tendência a suficiente ($70 \leq CR \leq 90\%$), suficiente ($90 \leq CR \leq 100$), alta ($100 > CR \geq 90$, à direita do máximo), tendência a excesso ($90 \leq CR \leq 70$, à direita do máximo), excesso ($CR < 70\%$, a direita do máximo).

Avaliou-se, também, o relacionamento do crescimento relativo em volume de tronco com os índices zIBKW e com os índices DRIS de N, P, K, Zn e B pelo método da Chance Matemática Relativa. O método da chance matemática (ChM) foi proposto inicialmente por Wadt et al., (1994). Este método integra frequências de lavouras de alta produtividade e valores de produtividade destas dentro de classes específicas de teor de certo nutriente, baseando-se na esperança matemática e tendo como pressuposto o fato de que em grandes populações a frequência observada se aproxima da probabilidade.

Neste trabalho, os zIBK, para cada nutriente, em cada talhão, foram classificados em ordem crescente e relacionados ao crescimento relativo nos respectivos talhões. Para cada nutriente foi determinada a amplitude total (A) dos zIBKW. Calculou-se o número de classes (I) com base no tamanho da amostra (n), em que $I = n^{1/2}$. O quociente entre a amplitude total e o número de classes resultou na amplitude de cada classe ($IC = A/I$). Em seguida, foram calculadas, em cada classe, duas frequências: a de talhões de alta produtividade em relação ao total de talhões de alta produtividade; e a de talhões de alta produtividade em relação ao

número de talhões da classe. Então, a chance matemática foi calculada pela equação (7).

$$\text{ChM} = \{[P(\text{Ai}/\text{A}) \cdot \text{PRODi}] \cdot [P(\text{Ai}/\text{Ni}) \cdot \text{PRODi}]\}^{0,5} \quad \text{eq.7}$$

Em que: ChM = chance matemática (m^3/arv) na classe “i” (mesma unidade da produtividade); $P(\text{Ai}/\text{A})$ = frequência de talhões de alta produtividade na classe “i” em relação ao total de talhões de alta produtividade; $P(\text{Ai}/\text{Ni})$ = frequência de talhões de alta produtividade na classe “i” em relação ao total de talhões da classe “i”; PRODi = produtividade média (%) dos talhões de alta produtividade, na classe “i”;

A seguir, a ChM de cada classe foi dividida pelo maior valor de ChM, obtendo assim a Chance Matemática Relativa (ChMR, em %), que foi relacionada, com o auxílio do aplicativo “Table Curve 2D”, mediante equações de regressão, com o ponto médio de zIBKW de cada classe, conforme proposto por Fernandes (2010).

Selecionada a equação com maior ajuste aos dados, foram obtidos os novos valores de referência para IBKW, utilizando as seguintes faixas: classe deficiente ($\text{CR} < 70 \%$), tendência a suficiente ($70 \leq \text{CR} \leq 90 \%$), suficiente ($90 \leq \text{CR} \leq 100$), alta ($100 > \text{CR} \geq 90$, à direita do máximo), tendência a excesso ($90 \leq \text{CR} \leq 70$, à direita do máximo), excesso ($\text{CR} < 70 \%$, a direita do máximo).

2.1 – Avaliação do estado nutricional de plantios de eucalipto no Brasil

Utilizando-se as faixas de suficiência propostas neste trabalho, para uso nos métodos KW e DRIS, para os nutrientes N, P, K, Zn, e B, avaliou-se o estado nutricional dos plantios de eucalipto no Brasil integrantes do banco de dados.

As classes deficiente e tendência a suficiente foram agrupadas, a classe resultante dessa junção foi denominada de limitante por falta o mesmo foi feito para as classes tendência a excesso e excessiva, sendo a classe assim resultante denominada de limitante por excesso. Logo, os teores de nutrientes nas folhas de eucalipto em cada talhão foram classificados em Limitante por Falta ($\text{CR} < 90 \%$), Suficiente ($90 \leq \text{CR} < 100\%$), Alta ($100 \leq \text{CR} < 90\%$ a direita), Limitante por Excesso ($\text{CR} \leq 90 \%$ a direita).

Posteriormente, foram calculadas as frequências de talhões com teores foliares nas classes limitantes por falta, suficiente, alto e limitante por excesso, em relação a cada nutriente analisado, avaliando o grau de balanço (KW) e o grau de equilíbrio (DRIS) isoladamente, e a frequência de talhões nessas mesmas classes utilizando os métodos de forma conjunta para diagnosticar os talhões balanceados e equilibrados.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Definição da população de referência

Dos 9 608 registros que constituíam a base de dados, foram selecionados, pelo método de Linha de Fronteira, 78 registros para descrever a região de fronteira superior e 66 registros para descrever a região de fronteira inferior (Figura 1). Observa-se que esses registros são constituídos por árvores de plantios de eucalipto abrangendo vários materiais genéticos, distribuídos em várias regiões e empresas, englobando, assim, grande variabilidade de condições de sítio, material genético e manejo.

As equações estabelecidas para relacionar o crescimento em altura e dap das árvores em função da idade, nas populações de fronteira, se adequaram bem aos dados, sendo estatisticamente significativas, apresentadas na figura 1.

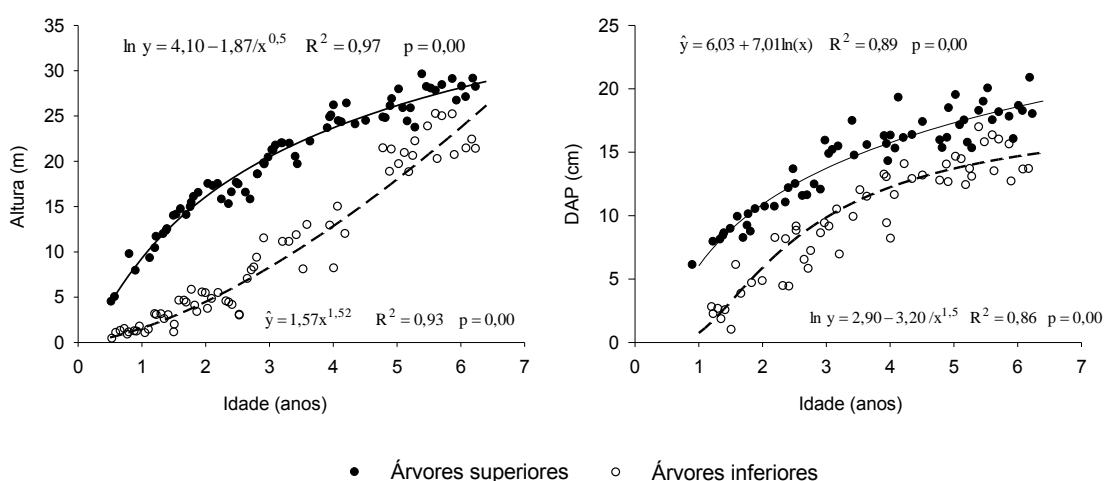


Figura 1: Altura e diâmetro de árvores de eucalipto no Brasil em função da idade nas populações de fronteira superior e inferior.

Com base nas equações para altura e diâmetro, mostradas na figura 1, para as populações superior e inferior, foi estimado o volume por árvore dessas populações (Figura 2).

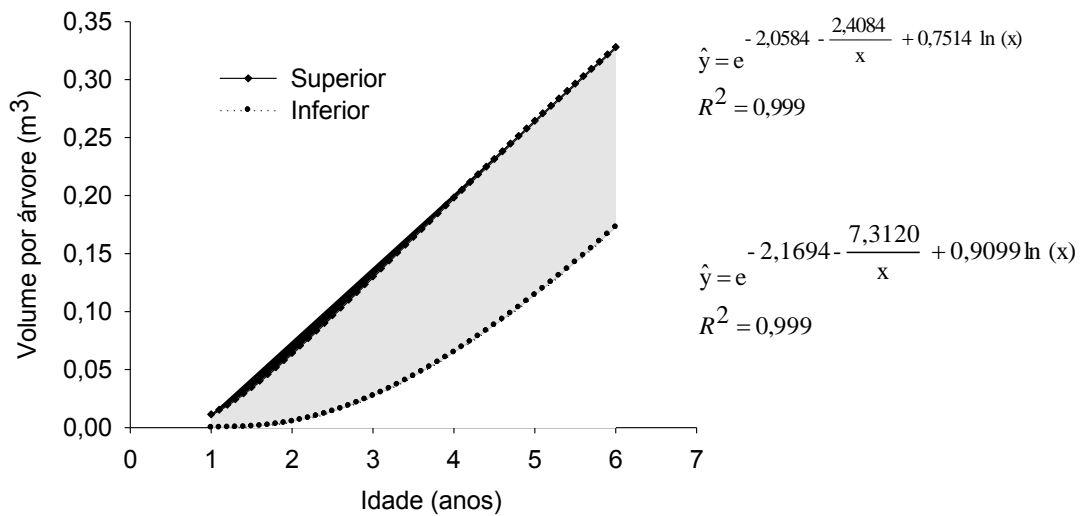


Figura 2: Volume por árvore estimado nas populações superior e inferior de plantios de eucalipto no Brasil em função da idade.

A observação da figura 2 leva à percepção da existência de um desvio entre as curvas, e a integral da área entre essas duas curvas constitui o “sesgo”, que, no caso, representa a diferença de produtividade entre as duas populações. Pode-se notar, na Tabela 2, que as maiores diferenças relativas de produtividade se encontram nas idades iniciais (até 3 anos), podendo chegar a 97 % a menos de produção, nas piores florestas, diferença que vai diminuindo ao longo do tempo, indicando que as árvores de produtividade inferior possuem crescimento inicial lento e recuperam, em parte, seu crescimento ao longo das idades, mas não conseguem atingir o nível de produtividade das árvores superiores, perdendo até 49 % de produtividade na idade de 6 anos, idade esta próxima à frequentemente utilizada atualmente para a colheita das árvores nos plantios de eucalipto no Brasil.

Tabela 2: Diferença de produtividade entre a população superior e inferior para um período de crescimento de seis anos, estratificada por períodos de crescimento.

CLASSE (Idade em anos)	Superior (S) m ³ /arv.ano	Inferior (I) m ³ /arv.ano	S – I m ³ /arv.ano	Perda de Produtividade (%)
1,0 - 1,5	0,011181	0,000246	0,010935	97,8
1,5 - 2,0	0,024630	0,001539	0,023091	93,8
2,0 - 2,5	0,040287	0,004728	0,035559	88,3
2,5 - 3,0	0,056868	0,010132	0,046736	82,3
3,0 - 3,5	0,073758	0,017679	0,056079	76,0
3,5 - 4,0	0,090654	0,027127	0,063527	70,1
4,0 - 4,5	0,107408	0,038199	0,069209	64,4
4,5 - 5,0	0,123948	0,050632	0,073316	59,2
5,0 - 5,5	0,140241	0,064196	0,076046	54,2
5,5 - 6,0	0,156274	0,078699	0,077575	49,6

Como o crescimento é primariamente definido pelas condições do sítio, ou seja, por clima, fisiografia e solo, fatores aos quais se soma, em plantios comerciais, o efeito do manejo (entendido em sentido amplo, pela escolha do material genético e nutrição), e associando o conceito de região de fronteira, pode-se propor que as árvores integrantes da população de fronteira superior expressem o crescimento atingível, no sentido de potencial, ao longo da rotação florestal. Logo, a condição nutricional das árvores integrantes dessa fronteira superior é indicativa da condição nutricional ótima. Dessa forma, procedeu-se à investigação da condição nutricional dessas florestas, com base nos teores foliares de nutrientes nelas presentes.

3.2 – Relacionamento entre a produtividade e a nutrição

3.2.1 – Produtividade *versus* teores de nutrientes

Na figura 3 são apresentados os teores padrão de macronutrientes em folhas de eucalipto no Brasil, das melhores florestas selecionadas pela linha de fronteira.

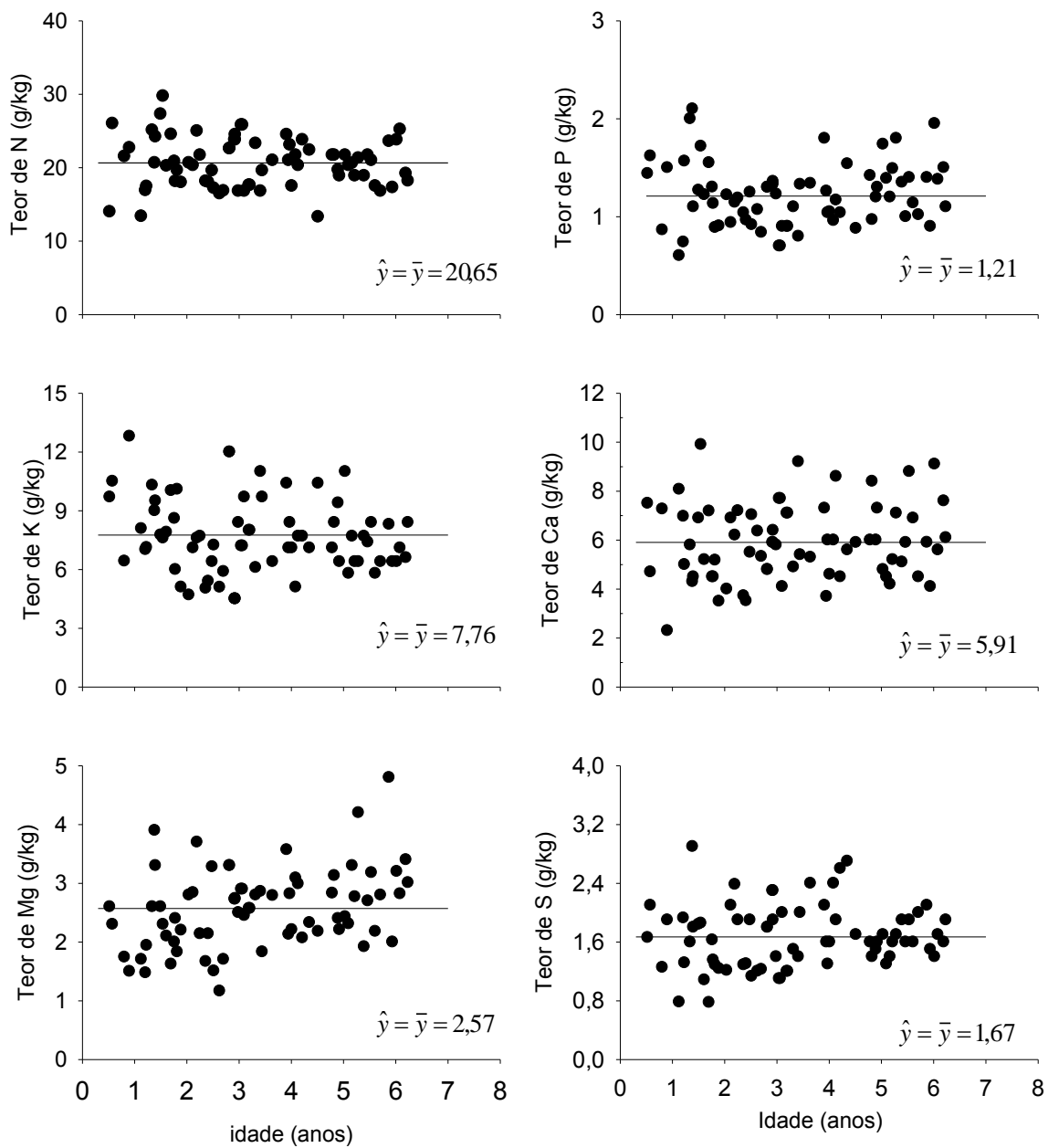


Figura 3: Teores foliares de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) em florestas de alta produtividade, selecionadas pelo método de Linha de Fronteira.

Nas florestas mais produtivas, houve constância no teor dos nutrientes ao longo do período de crescimento avaliado. O mesmo padrão se pode observar para os micronutrientes na figura 4.

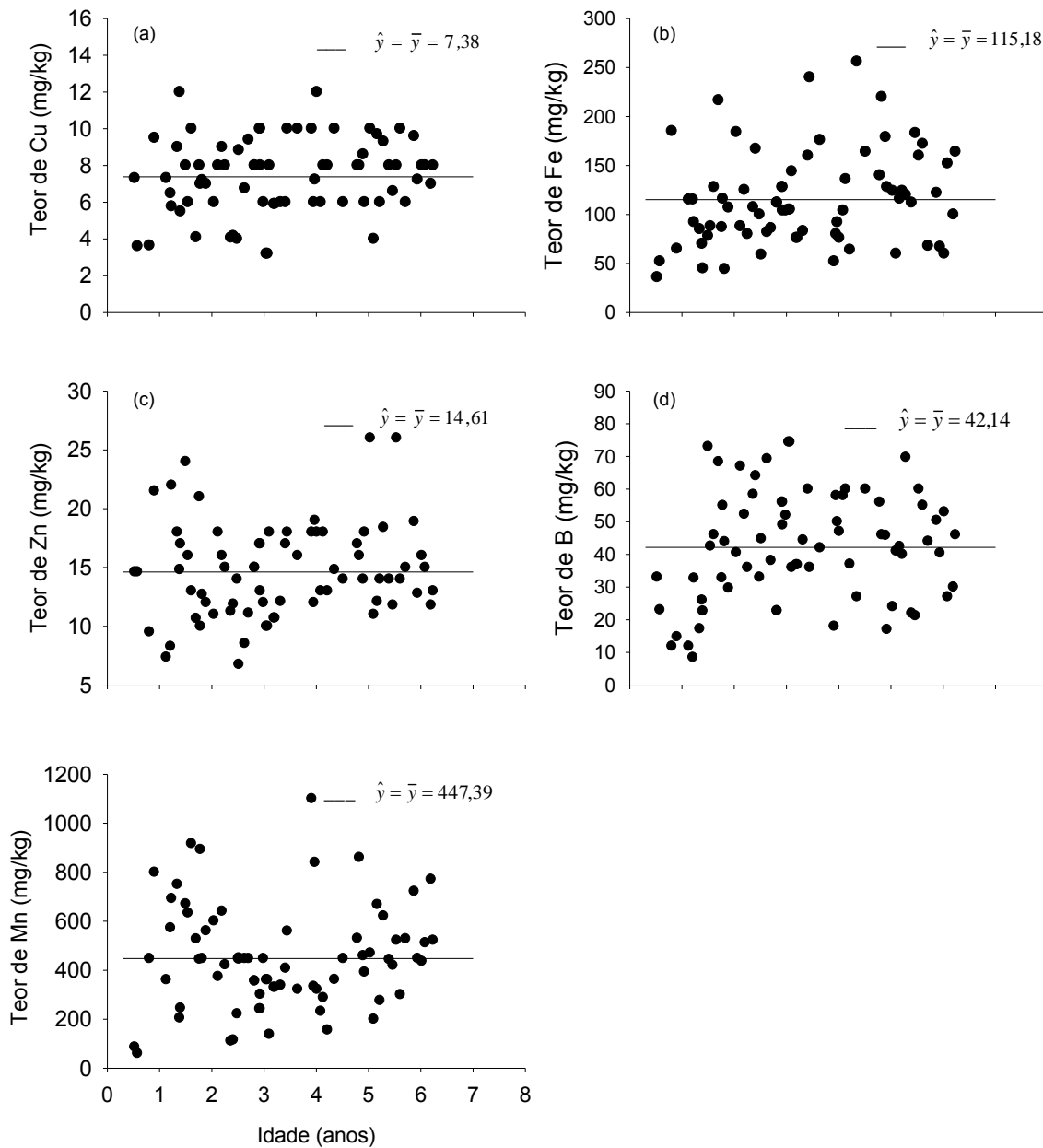


Figura 4: Teores foliares de micronutrientes (Cu, Fe, Zn, B e Mn) em florestas de alta produtividade, selecionadas pelo método de Linha de Fronteira.

A condição necessária para que a planta consiga manter o teor do nutriente na folha, é a absorção “contínua” do nutriente, e ou sua ciclagem pela via bioquímica, uma vez que o teor de um dado nutriente no tecido vegetal é uma variável bivariada, dada pela relação entre a quantidade do nutriente e a quantidade de tecido. Ressalta-se que o importante não é apenas a manter o teor do nutriente na folha, mas sim, sua manter os teores em níveis adequados, como evidenciado

neste trabalho, sugerindo que a proposição de Wadt (1996) no sentido de que a folha é o órgão adequado apenas nas idades jovens deva ser revisada.

Os teores foliares de nutrientes encontrados neste trabalho nas árvores da população de fronteira superior podem ser entendidos como indicativos do ótimo nutricional para possibilitar as maiores produtividades.

3.2.2 – Produtividade *versus* relações entre teores

Uma vez que nas árvores superiores, o grau de balanço dos nutrientes se mantém constante ao longo das idades, como indicado pela constância dos teores foliares, seria razoável esperar, nesta população, que o mesmo ocorresse para as relações duais entre eles. Para confirmar esta pressuposição, foi feita uma análise de variância de modo a avaliar o efeito da idade sobre as relações entre os nutrientes. Pelo desdobramento da interação Classe de Idade x População, que foi feito independentemente da significância pelo teste F desta interação, pode-se notar que de todas as relações testadas, em 70 % não houve efeito significativo da classe de idade, ou seja, as relações duais não variaram estatisticamente com a idade (Tabela 3).

Tabela 3: Significância do efeito da idade sobre as relações duais entre os nutrientes.

Variável	Efeito da idade	Variável	Efeito da idade	Variável	Efeito da idade	Variável	Efeito da idade
N/P	ns	P/Cu	ns	Ca/S	ns	S/Zn	ns
N/K	ns	P/Fe	ns	Ca/Cu	ns	S/Mn	**
N/Ca	ns	P/Zn	ns	Ca/Fe	ns	S/B	***
N/Mg	ns	P/Mn	**	Ca/Zn	ns	Cu/Fe	ns
N/S	ns	P/B	***	Ca/Mn	***	Cu/Zn	ns
N/Cu	ns	K/Ca	ns	Ca/B	***	Cu/Mn	ns
N/Fe	ns	K/Mg	ns	Mg/S	ns	Cu/B	***
N/Zn	ns	K/S	ns	Mg/Cu	ns	Fe/Zn p	ns
N/Mn	**	K/Cu	ns	Mg/Fe	ns	Fe/Mn p	ns
N/B	**	K/Fe	ns	Mg/Zn	ns	Fe/B p	ns
P/K	ns	K/Zn	ns	Mg/Mn	**	Zn/Mn p	*
P/Ca	ns	K/Mn	***	Mg/B	**	Zn/B p	**
P/Mg	ns	K/B	***	S/Cu	ns	Mn/B p	**
P/S	ns	Ca/Mg	ns	S/Fe	ns		

ns = Não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%; *** significativo a 0,1%, pelo teste F

Dessa forma, pode-se concluir que, nas árvores com produtividade ótima, as relações duais se comportaram de forma semelhante aos teores de nutrientes, mantendo-se constante ao longo da idade.

Como mostrado neste trabalho, o fato de os teores e as relações duais serem mantidos constantes ao longo da rotação florestal, na população de árvores com produtividade ótima, pode ter grande importância e utilidade prática, haja visto que o manejo das fertilizações que vem sendo adotado mais recentemente pelas empresas envolve a antecipação e a redução do número de adubações de cobertura, notadamente para N e K. Diante do mostrado nas figuras 3 e 4, parece ser mais acertado a adoção de um esquema de manejo da nutrição capaz de resultar na manutenção do teor foliar e das relações entre teores dos nutrientes durante toda a fase de crescimento, do que um esquema de manejo que resulte no aumento excessivo dos teores foliares dos nutrientes nas fases iniciais de crescimento.

3.3 – Normas para uso na avaliação do grau de balanço e de equilíbrio

Uma vez que as árvores mais produtivas ao longo das idades apresentam constância da condição nutricional quanto ao grau de balanço e com muita frequência também quanto ao grau de equilíbrio, como aqui comentado, esse resultado permitiu utilizar toda a população de referência (que possuem árvores com idades entre um e seis anos), sem estratificar por idade, para gerar as normas Kenworthy e DRIS, capazes de serem utilizadas para plantios de eucalipto independente de sua fase de crescimento (Tabela 4).

O coeficiente de variação (CV) de cada norma indica a precisão da norma, logo, um menor valor de CV indica maior precisão e vice-versa.

Quanto às normas de teores, para uso no método Kenworthy, verifica-se que as normas dos macronutrientes são mais precisas (CV 24,7 %) do que as dos micronutrientes (CV 34,7 %). O nutriente cuja norma é a mais precisa é o N e o Mn é o nutriente cuja norma é a menos precisa, conforme a sequência decrescente de precisão: N > K > S > P = Mg = Ca > Zn > Cu > B > Fe > Mn. Normas mais precisas permitem maior sensibilidade os diagnósticos. Nesse sentido, Rocha (2008) verificou que o método Kenworthy é menos sensível quanto aos diagnósticos

produzidos para nutrientes cujas normas tem CV maior que 30%, especialmente para detectar situações de deficiência. Neste trabalho vê-se na tabela 4 que os nutrientes cujas normas tem CV maior que 30 % são o B (39,4 %), o Fe (41,4 %), e o Mn (47,1 %).

As normas das relações duais, para uso no DRIS, entre teores foliares de nutrientes constam da tabela 4. Considerando todas as 110 relações duais, diretas e inversas, observou-se as normas diferem quanto à média e quanto à variabilidade (desvio-padrão e CV). As diferenças quanto à média são resultantes da magnitude dos teores de nutrientes envolvidos em cada relação dual. Já as diferenças quanto à variabilidade indicam sobre o grau de precisão de cada norma. Assim, as normas de relações duais mais precisas são aquelas que relacionam dois nutrientes com baixo CV quanto às normas de teores, a exemplo de N/P e N/K, e as menos precisas são as que relacionam dois nutrientes com alta CV, a exemplo de Mn/Fe e Mg/Cu (tabela 4).

Tabela 4 – Normas dos teores^{1/} foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Zn, Mn e B e de suas relações duais, para os métodos Kenworthy^{2/} e DRIS^{3/}, para plantios de eucalipto no Brasil, com idades de um a seis anos.

Variável	$\bar{Y}^{4/}$	$s^{5/}$	CV (%) ^{6/}	Variável	$\bar{Y}^{4/}$	$s^{5/}$	CV (%) ^{6/}
N	20,67	3,33	16,10				
P	1,22	0,32	25,97	Ca/N	0,29	0,09	31,49
K	7,69	1,90	24,77	Ca/P	5,23	2,23	42,71
Ca	5,92	1,54	26,01	Ca/K	0,81	0,27	32,86
Mg	2,57	0,67	25,98	Ca/Mg	2,44	0,90	37,02
S	1,67	0,43	25,81	Ca/S	3,84	1,67	43,49
Cu	7,40	2,04	27,50	Ca/Cu	0,88	0,42	47,06
Fe	114,61	47,42	41,37	Ca/Fe	0,06	0,03	53,05
Zn	14,68	3,99	27,16	Ca/Zn	0,44	0,18	42,13
Mn	450,28	212,09	47,10	Ca/Mn	0,02	0,01	76,16
B	42,24	16,65	39,42	Ca/B	0,18	0,13	75,83
N/P	17,77	4,69	26,37	Mg/N	0,13	0,03	24,68
N/K	2,85	0,84	29,51	Mg/P	2,20	0,67	30,63
N/Ca	3,74	1,21	32,35	Mg/K	0,35	0,12	34,27
N/Mg	8,48	2,25	26,56	Mg/Ca	0,46	0,15	32,65
N/S	13,10	3,88	29,61	Mg/S	1,60	0,45	27,83
N/Cu	3,08	1,35	43,72	Mg/Cu	0,38	0,15	39,88
N/Fe	0,21	0,10	47,67	Mg/Fe	0,03	0,01	51,70
N/Zn	1,49	0,40	26,91	Mg/Zn	0,18	0,05	27,52
N/Mn	0,06	0,06	88,94	Mg/Mn	0,01	0,01	77,92
N/B	0,61	0,37	60,64	Mg/B	0,07	0,04	53,41
P/N	0,06	0,01	23,83	S/N	0,08	0,02	25,64
P/K	0,17	0,06	33,01	S/P	1,42	0,40	28,15
P/Ca	0,22	0,09	40,45	S/K	0,23	0,09	37,17
P/Mg	0,50	0,16	32,23	S/Ca	0,31	0,12	40,81
P/S	0,76	0,24	31,86	S/Mg	0,68	0,21	30,76
P/Cu	0,18	0,07	37,30	S/Cu	0,24	0,08	32,72
P/Fe	0,01	0,01	57,36	S/Fe	0,02	0,01	53,18
P/Zn	0,09	0,02	25,72	S/Zn	0,12	0,03	26,86
P/Mn	0,00	0,00	100,00	S/Mn	0,01	0,01	96,23
P/B	0,04	0,02	63,91	S/B	0,05	0,03	68,60
K/N	0,38	0,11	30,13	Cu/N	0,37	0,11	30,43
K/P	6,66	2,30	34,47	Cu/P	6,31	1,96	31,05
K/Ca	1,40	0,67	47,49	Cu/K	1,01	0,37	36,73
K/Mg	3,19	1,20	37,62	Cu/Ca	1,35	0,59	43,38
K/S	4,91	1,81	36,81	Cu/Mg	3,05	1,15	37,69
K/Cu	1,13	0,45	40,23	Cu/S	4,60	1,43	31,19
K/Fe	0,08	0,05	60,39	Cu/Fe	0,08	0,04	51,84
K/Zn	0,55	0,17	31,15	Cu/Zn	0,53	0,18	33,65
K/Mn	0,02	0,02	101,28	Cu/Mn	0,02	0,01	67,62
K/B	0,24	0,17	73,45	Cu/B	0,22	0,14	64,91

Continua ...

Continuação da Tabela 4

Variável	$\bar{Y}^{4/}$	$s^{5/}$	CV (%) ^{6/}	Variável	$\bar{Y}^{4/}$	$s^{5/}$	CV (%) ^{6/}
Zn/N	0,72	0,20	27,40	Fe/N	5,69	2,51	44,12
Zn/P	12,36	3,20	25,86	Fe/P	100,49	48,22	47,99
Zn/K	1,98	0,60	30,43	Fe/K	15,91	7,60	47,73
Zn/Ca	2,67	1,18	44,16	Fe/Ca	20,40	9,31	45,65
Zn/Mg	5,97	1,98	33,27	Fe/Mg	47,64	24,48	51,38
Zn/S	9,06	2,40	26,55	Fe/S	73,81	40,29	54,59
Zn/Cu	2,09	0,66	31,46	Fe/Cu	16,89	9,37	55,49
Zn/Fe	0,15	0,08	52,44	Fe/Zn	8,36	4,05	48,48
Zn/Mn	0,04	0,04	82,80	Fe/Mn	0,32	0,23	72,38
Zn/B	0,43	0,26	60,98	Fe/B	3,37	2,69	79,87
Mn/N	22,06	10,22	46,31	B/N	2,09	0,87	41,83
Mn/P	385,45	183,84	47,69	B/P	37,40	19,78	52,90
Mn/K	60,65	28,64	47,21	B/K	6,01	3,10	51,63
Mn/Ca	80,87	50,30	62,20	B/Ca	7,47	3,16	42,35
Mn/Mg	186,60	101,43	54,36	B/Mg	17,38	8,91	51,26
Mn/S	293,35	164,34	56,02	B/S	27,51	15,07	54,78
Mn/Cu	63,26	29,73	46,99	B/Cu	6,41	4,18	65,22
Mn/Fe	4,52	3,10	68,54	B/Fe	0,42	0,22	51,53
Mn/Zn	32,43	16,89	52,09	B/Zn	3,09	1,59	51,43
Mn/B	13,81	12,66	91,68	B/Mn	0,13	0,10	81,72

^{1/}Teores dos macronutrientes em g/kg, e dos micronutrientes em mg/kg; ^{2/}Kenworthy (1961); ^{3/}Beaufils (1973);

^{4/}média; ^{5/}desvio-padrão; e ^{6/}coeficiente de variação.

3.4 – Métodos alternativos para determinação das faixas de suficiência para uso nos métodos Kenworthy e DRIS.

3.4.1 – Linha de fronteira

Na figura 5 são apresentados os gráficos de dispersão do relacionamento entre os índices zIBK dos nutrientes N, P, K, Zn e B e a produtividade (crescimento relativo em volume de tronco – CR (%)), considerando todos os talhões abrangidos pelo estudo. Conforme vê-se nesta figura, a linha de fronteira superior (LFS) é formada pela curva estabelecida pelos pontos selecionados (assinalados em cor azul nos gráficos). Na tabela 5 são apresentadas as respectivas equações ajustadas considerando os nutrientes N, P, K, Zn e B.

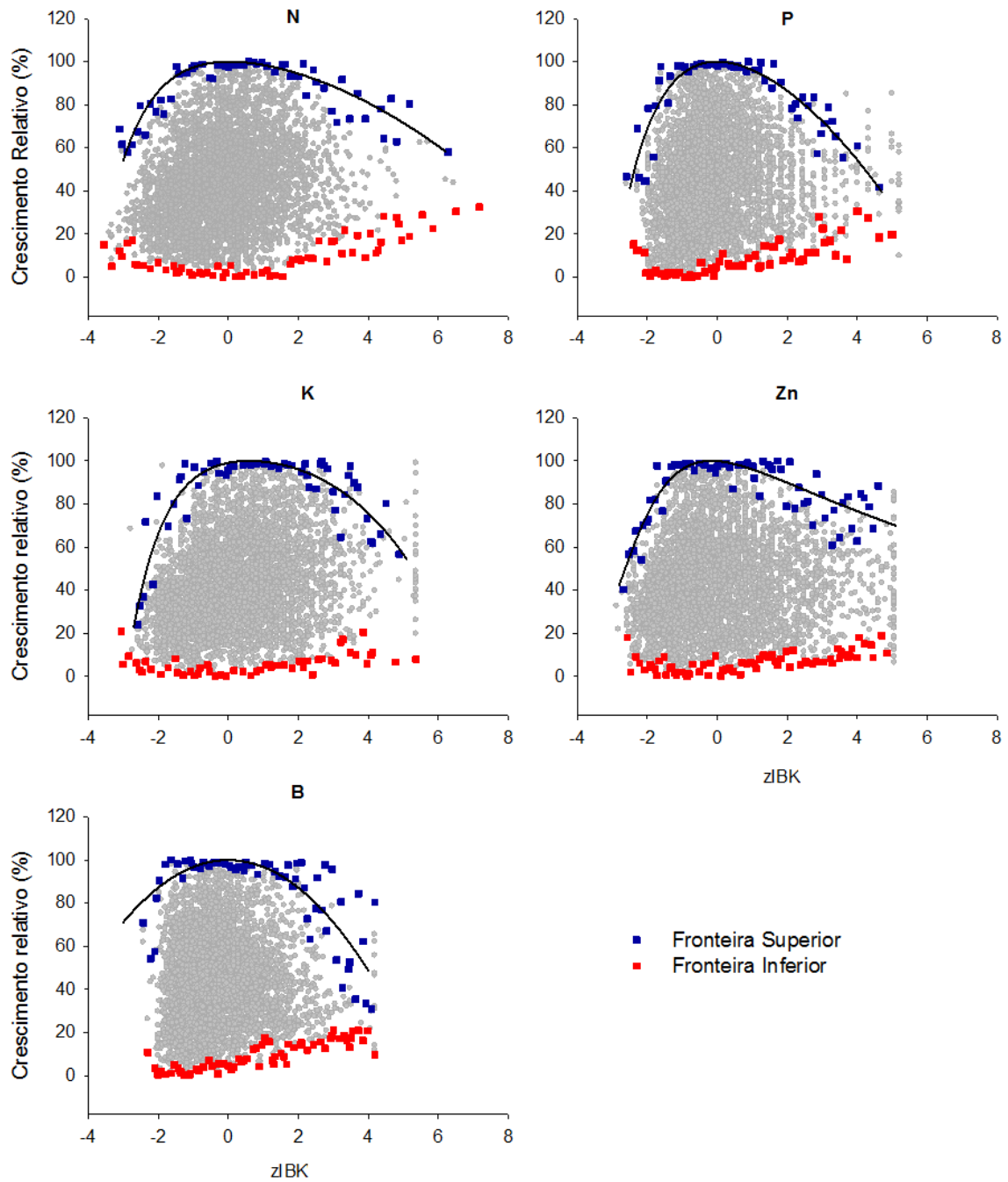


Figura 5. Gráfico de dispersão entre o crescimento relativo em volume de tronco de eucalipto e os valores de zIBK de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto.

Tabela 5: Equações ajustadas para o crescimento relativo em volume de tronco de árvores de eucalipto (x) da população de fronteira superior e o índice zIBK (y) de N, P, K, Zn e B.

Nutriente	Equação	Intervalo	r_{yy}	n
N	$\hat{y} = 110,927 - 2,421 x - 0,847 x^2 - 2,581 e^{-x}$	$\forall -3,5 \leq zIBKW \leq 6,2$	0,921	55
P	$\hat{y} = 116,679 - 6,174 x - 1,981 x^2 - 6,070 e^{-x}$	$\forall -2,5 \leq zIBKW \leq 4,7$	0,894	57
K	$\hat{y} = 116,876 - 3,633 x - 0,286 x^3 - 7,186 e^{-x}$	$\forall -2,7 \leq zIBKW \leq 5,1$	0,885	57
Zn	$\ln y = 4,776 - 0,083 x - 0,070 e^{-x}$	$\forall -2,8 \leq zIBKW \leq 4,5$	0,865	69
B	$\hat{y} = 110,093 - 13,131 x - 8,315 e^{-x}$	$\forall -2,6 \leq zIBKW \leq 4,2$	0,779	63

Em experimentos, faz-se variar apenas o fator de interesse no estudo. Os demais fatores são controlados e mantidos constantes. Assim, ao final, pode-se inferir que o padrão de variação da variável resposta é função apenas das variações do fator em estudo. Por exemplo, ao se estudar o efeito de doses de N sobre a produtividade, todos os outros nutrientes e outros fatores de produção são mantidos constantes, permitindo atribuir as variações na produtividade apenas à variação do N adicionado.

Já os dados obtidos em populações de plantios comerciais, como neste trabalho, refletem condições distintas quanto aos sítios florestais, aos materiais genéticos e ao manejo. Assim, as produtividades desses plantios são influenciadas por vários fatores e não por um fator em específico como em experimentos.

Dessa forma, a estratégia de uso de linha de fronteira permite separar em grandes conjuntos de dados, pontos onde haveria efeito apenas de um fator de crescimento, no caso deste trabalho da condição nutricional relacionada à cada nutriente. Para os pontos abaixo da linha de fronteira pode-se inferir que a produtividade foi limitada por outros fatores, nutricionais e não nutricionais, além do fator em estudo.

Assim, considerando que as observações selecionadas na região de fronteira superior abrangem todo o campo de variação da variável independente, as linhas de fronteira superior mostradas na figura 5 representam os efeitos da

limitação pelo grau de balanço do nutriente, (representado pelo respectivo zIBK) sobre a produtividade (CR); dessa forma, pode-se assumir que todos os valores abaixo dessa fronteira são resultantes da influência de outras variáveis, ou da combinação de outras variáveis que possam estar limitando a produtividade, ou seja, são resultantes de condições nutricionais e não nutricionais não ótimas. Segundo Blanco-Macías et al. (2009) a utilização das linhas de fronteira é adequada apenas quando se tem disponibilidade de grandes bases de dados, como neste trabalho.

Ainda sobre a figura 5, pode-se observar a existência de uma linha de fronteira inferior (LFI) indicada pelos pontos em vermelho, e definida pelas menores produtividades encontradas para os talhões estudados. Os valores de crescimento relativo das árvores da LFI, de forma geral, situaram-se em torno de 32 %, valor um pouco menor do que o verificado em plantios jovens de eucalipto, até 2,2 anos de idade, cultivados no cerrado, no Vale do Rio Doce e na região litorânea norte do Espírito Santos e no Sul da Bahia, mas para a LFI do relacionamento do crescimento relativo em altura em função do grau de balanço nutricional, que situou-se em torno de 40 % (Borges, 2012). Pode-se inferir que na população definida pela LFI o crescimento das árvores não responde ao grau de balanço de cada um dos nutrientes aqui considerados, em razão de limitação por outros fatores de crescimento (nutricionais e não nutricionais).

Fica evidente, pela observação das linhas de fronteira superior da figura 5 e de suas respectivas equações (tabela 5), e para cada um dos nutrientes aqui considerados, que o relacionamento entre a produtividade e os valores de zIBK não é simétrico. A falta do nutriente é sempre mais importante do que o excesso, na definição da produtividade. Isso leva ao questionamento sobre a simetria implícita nos valores das faixas de suficiência propostas por Kenworthy: deficiente ($IBK < 50$ %), abaixo do normal ($50 \leq IBK < 83$ %), normal ($83 \leq IBK < 117$ %), acima do normal ($117 \leq IBK < 150$ %) e excessiva ($IBK \geq 150$ %).

As faixas de suficiência, propostas originalmente por Kenworthy para a macieira, parecem ter sido geradas apenas por critério estatístico, considerando, de maneira geral, uma variabilidade média do teor do nutriente na população de referência em torno de 20 %. Dessa forma, quando a variabilidade difere muito desse valor, as faixas de suficiência originalmente propostas por Kenworthy podem

não ser as mais indicadas para fins de interpretação dos resultados de análises foliares. Além disso, segundo Rocha (2008), quando o CV do teor do nutriente na população de referência atinge valores acima de 30 % os critérios de interpretação dos resultados perdem significado, exemplificando, esse autor, que, nessa situação, os teores dos nutrientes para serem considerados deficientes teriam de assumir valores absurdos.

Isso sugere que a estratégia discreta utilizada para interpretação dos índices IBK, baseada em classes simétricas cuja amplitude não faz distinção entre culturas e nutrientes, pode não ser a mais adequada, conforme também observado por Fernandes (2010).

Com base nas equações de regressão da tabela 5, e considerando as faixas de valores de produtividade, definidas com base no crescimento relativo em volume de tronco, propõe-se para os nutrientes N, P, K, Zn e B as faixas de suficiência para interpretação dos índices balanceados de Kenworthy para eucalipto no Brasil, considerando a faixa de idade das árvores de 1 a 6 anos (Tabela 6). Nesta tabela, para fins de comparação, constam também as faixas propostas por Fernandes (2010) para árvores jovens de eucalipto (até 2,2 anos) no estado de São Paulo, ao também utilizar o crescimento relativo.

O que se observa, pela tabela 6, é que para todos os nutrientes a amplitude da faixa normal (Suficiente + Alta) foi ampliada em relação à proposta de Kenworthy, e, também, que tal ampliação não é simétrica. Em geral, o limite superior da faixa normal elevou-se mais do que o limite inferior decresceu. O ponto ótimo para os nutrientes permaneceu próximo ao valor proposto por Kenworthy, para N, P e Zn, foi maior para K e menor para B.

Tabela 6: Faixas de suficiência propostas para os Índices balanceados de Kenworthy (%) de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto, no Brasil, derivados do método da Fronteira, considerando o crescimento relativo em volume de tronco.

Nutriente	Deficiente	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % CR	70 % ≤ CR < 90%	90 % ≤ CR < 100%	100 % ≥ CR > 90%	90 % ≥ CR > 70%	≤ 70 % CR
Proposta deste trabalho para Eucalipto no Brasil						
N	<65	65 a 76	76 a 101	101 a 137	137 a 170	≥170
P	<62	62 a 76	76 a 100	100 a 132	132 a 160	≥ 160
K	<65	65 a 79	79 a 111	111 a 153	153 a 181	≥ 181
Zn	<57	57 a 72	72 a 97	97 a 140	140 a 201	≥ 201
B	<51	51 a 64	64 a 89	89 a 127	127 a 168	≥ 168
Proposta para Eucalipto (até 2,2 anos) em SP (Fernandes, 2010)						
N	< 70	70 a 82	83 a 100	100 a 138	139 a 170	> 170
P	< 47	48 a 60	61 a 100	100 a 139	140 a 195	> 195
K	< 62	62 a 74	75 a 100	100 a 137	137 a 174	> 174
Zn	< 62	62 a 76	77 a 100	100 a 151	152 a 199	> 199
B	< 65	66 a 76	77 a 100	100 a 126	127 a 153	> 153

Com base nas normas IBK, obtidas neste trabalho, já apresentadas na tabela 4, para plantios de eucalipto no Brasil, e considerando os valores de referência propostos neste trabalho e em Fernandes, 2010 (Tabela 6), foram obtidos os teores de nutrientes correspondentes às faixas de suficiência propostas nesses dois trabalhos (Tabela 7).

Tabela 7–Teores^{1/} de N, P, K, Zn e B em folhas de plantios de eucalipto no Brasil correspondentes as faixas de suficiência definidas por Kenworthy, 1961, as faixas proposta neste trabalho, e nas faixas propostas por Fernandes, 2010, definidas com base no crescimento relativo.

Nutri ente	Deficiente	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % CR	70 % ≤ CR < 90%	90 % ≤ CR < 100%	100 % ≥ CR > 90%	90 % ≥ CR > 70%	≤ 70 % CR
Kenworthy, 1961						
N	<8,40	8,40 a 16,50	16,50 a 20,70	20,70 a 24,90	24,90 a 33,0	≥ 33,00
P	< 0,39	0,39 a 0,94	0,94 a 1,22	1,22 a 1,50	1,50 a 2,05	≥ 2,05
K	<2,58	2,58 a 5,95	5,95 a 7,69	7,69 a 9,43	9,43 a 12,80	≥ 12,80
Zn	<4,60	4,60 a 11,25	11,25 a 14, 68	14,68 a 18,11	18,11 a 24,76	≥ 24,76
B	<7,38	7,38 a 30,39	30,39 a 42,24	42,24 a 54,09	54,09 a 77,10	≥ 77,10
Este trabalho						
N	< 12,0	12,0 a 14,8	14,8 a 20,9	20,9 a 29,8	29,80 a 37,90	≥ 37,90
P	< 0,59	0,59 a 0,82	0,82 a 1,22	1,22 a 1,75	1,75 a 2,21	≥ 2,21
K	< 4,10	4,10 a 5,60	5,60 a 8,80	8,80 a 13,10	13,10 a 16,00	≥ 16,00
Zn	< 6,00	6,00 a 9,00	9,00 a 14,10	14,10 a 22,70	22,70 a 35,00	≥ 35,00
B	< 8,10	8,10 a 17,10	17,10 a 34,60	34,60 a 61,10	61,10 a 89,70	≥ 89,70
Fernandes, 2010						
N	< 14,7	14,7 a 18,2	18,2 a 23,6	23,6 a 34,8	34,80 a 44,30	≥ 44,3
P	< 0,30	0,30 a 0,58	0,58 a 1,44	1,44 a 2,28	2,28 a 3,49	≥ 3,49
K	< 5,00	5,00 a 6,60	6,60 a 10,10	10,10 a 15,10	15,10 a 20,10	≥ 20,10
Zn	< 8,90	8,90 a 13,00	13,00 a 20,40	20,40 a 36,00	36,00 a 50,70	≥ 50,70
B	< 8,70	8,70 a 15,20	15,20 a 29,30	29,30 a 44,50	44,50 a 60,30	≥ 60,30

^{1/}Teor de N, P e K em g/kg e Zn e B em mg/kg.

As diferenças observadas entre as faixas propostas neste trabalho e as propostas por Fernandes (2010) para plantios jovens de eucalipto em SP, constantes da tabela 7, permitem concluir que, quando considerados os plantios de eucalipto mais produtivos no Brasil, ao longo da rotação, a amplitude da faixa

normal para os nutrientes considerados é ampliada, em relação ao proposto por Kenworthy.

Esses mesmos procedimentos foram também aplicados para a obtenção das faixas de suficiência dos índices DRIS. Os gráficos que relacionam o crescimento relativo em volume de tronco e os índices DRIS dos nutrientes N, P, K, Zn e B são apresentados na figura 6, e suas respectivas equações são apresentadas na tabela 8.

Tabela 8: Relacionamento entre o crescimento relativo (y) da população de fronteira em função do índice DRIS (x) de cada nutriente.

Nutriente	Equação	Intervalo	r _{ŷy}	n
N	$\text{Lny} = 4,7694 - 0,0581 x^2 - 0,0766 e^{-x}$	$\forall -2,5 \leq \text{iDRIS} \leq 8$	0,85	51
P	$\text{Lny} = 4,8417 - 0,1221 x - 0,1205 e^{-x}$	$\forall -2,5 \leq \text{iDRIS} \leq 4$	0,81	33
K	$1/y = 0,009493 + 0,000011 x^2 - 0,000043 e^{-x}$	$\forall -5,6 \leq \text{iDRIS} \leq 13,6$	0,67	51
Zn	$\text{Lny} = 4,7035 - 0,0178 x^2 - 0,0307 e^{-x}$	$\forall -4,0 \leq \text{iDRIS} \leq 5,4$	0,90	41
B	$\hat{y} = (107,5508 + 27,9618 x) / (1 + 0,26245 x + 0,01835 x^2)$	$\forall -3 \leq \text{iDRIS} \leq 8,8$	0,57	59

De maneira similar aos índices balanceados de Kenworthy, pode-se ver nas tabelas 8 e 9, que a amplitude da faixa normal para os índices DRIS dos nutrientes considerados é maior e não simétrica, elevando-se mais para o limite superior. Para K, a faixa foi tão ampliada que o ponto que define o início da faixa “desequilibrada por excesso” ficou além do limite superior do intervalo da equação. Isso contraria a simetria das faixas de suficiência originalmente propostas por Beaufils (“faixas de Beaufils”): deficiente (< -1,33 s), abaixo do normal (-1,33 s a -0,66 s); normal (-0,66 s a 0,66 s); acima do normal (0,66 s a 1,33 s); excessivo (> 1,33 s).

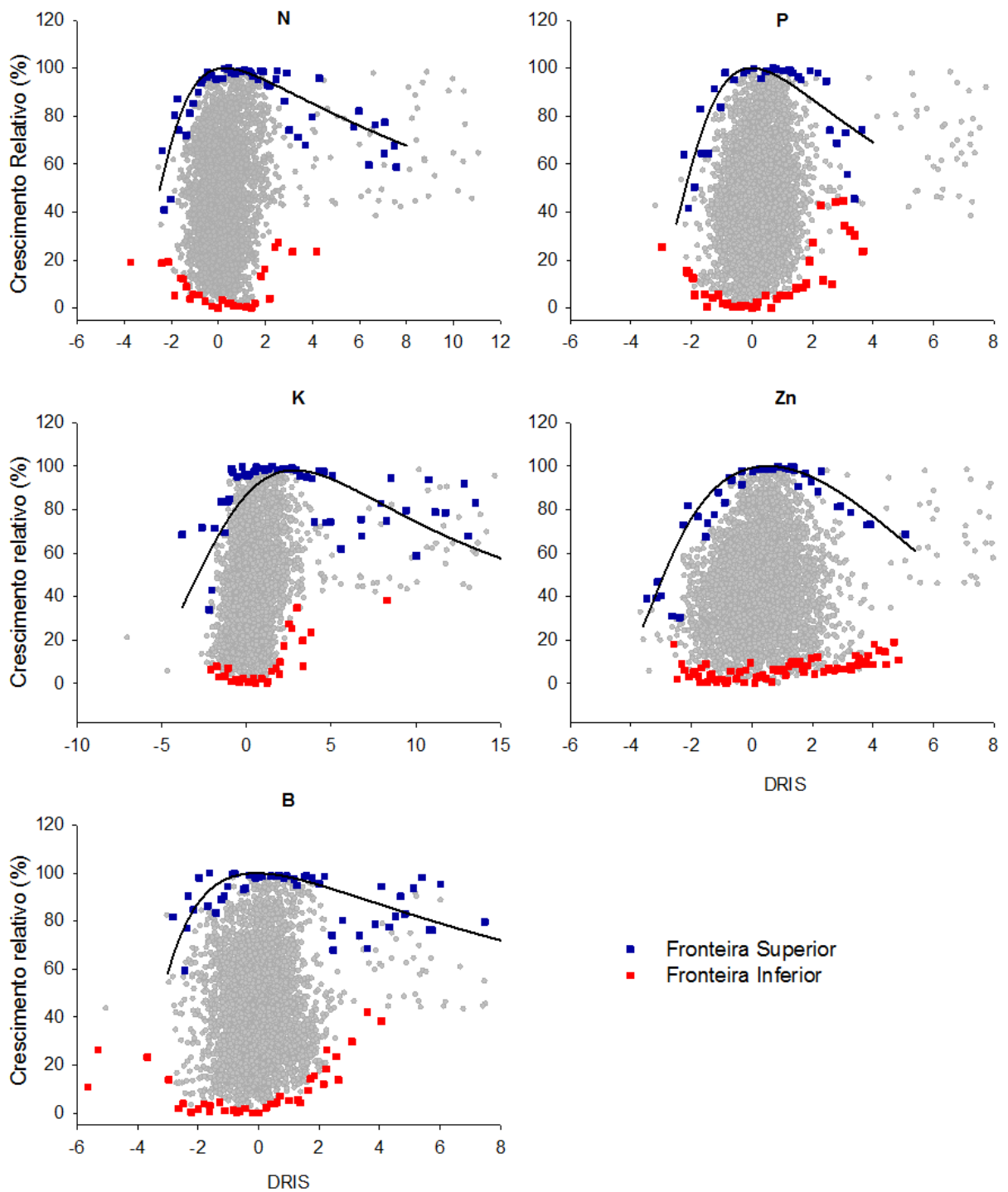


Figura 6. Gráfico de dispersão entre o crescimento relativo de eucalipto e índices DRIS para N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto.

Tabela 9: Limites das faixas de suficiência propostos para os Índices DRIS de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto, derivados do método da Fronteira, aplicado a produtividade relativa em volume.

	Deficiente	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % CR	70 % ≤ CR < 90%	90 % ≤ CR < 100%	100 % ≥ CR > 90%	90 % ≥ CR > 70%	< 70 % CR
N	<-1.961	-1.961 a -1.173	-1.173 a 0.274	0.274 a 3.020	3.020 a 7.416	≥7.416
P	<-1.745	-1.745 a -1.092	-1.092 a 0.000	0.000 a 1.663	1.663 a 3.887	≥3.887
K	<-4.503	-4.503 a -3.123	-3.123 a 0.700	0.700 a 10.017	10.017 a 19.490	≥19.490
Zn	<-2.246	-2.246 a -1.205	-1.205 a 0.500	0.500 a 2.663	2.663 a 4.617	≥4.617
B	<-2.702	-2.702 a -1.843	-1.843 a -0.007	-0.007 a 3.280	3.280 a 8.638	≥8.638

3.4.2 – Chance Matemática

As equações ajustadas para a chance matemática relativa do crescimento relativo em volume de tronco de plantios de eucalipto e o Índice Balanceado de Kenworthy padronizado de N, P, K, Zn e B constam da tabela 10 e em seguida, na tabela 11, apresentam-se as faixas de suficiência propostas para interpretação dos IBW.

Tabela 10: Relacionamento entre o índice padronizado de Kenworthy (zIBK) (x) de cada nutriente e chance de matemática relativa do crescimento relativo em volume de tronco das árvores (y).

	Equação	Intervalo	r ²	n
N	$\hat{y}=(87,8900+17,5996 x) / (1+0,1745x+0,4483 x^2)$	$\forall -3,1 \leq zIBK \leq 6,5$	0,94	53
P	$\hat{y}=(81,4663 +17,4694 x) / (1+0,2666 x +0,6632 x^2)$	$\forall -2,9 \leq zIBK \leq 5,4$	0,91	59
K	$\hat{y}=(61,1759+9,6373x) / (1- 0,3852 x+0,3119x^2)$	$\forall -2,6 \leq zIBK \leq 5,3$	0,90	60
Zn	$y^{-1}=0,0025+0,0117 x+0,0037e^{-x}$	$\forall -2,6 \leq zIBK \leq 5,3$	0,72	62
B	$\ln y=4,2979-0,1829x^2$	$\forall -2,7 \leq zIBK \leq 4,2$	0,82	60

Tabela 11: Faixas de suficiência propostos para os índices balanceados de Kenworthy de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto, derivados do método da chance matemática relativa aplicada a produtividade relativa em volume.

	Deficiente	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % CR	70 % ≤ CR < 90%	90 % ≤ CR < 100%	100 % ≥ CR > 90%	90 % ≥ CR > 70%	< 70 % CR
N	88	88 a 94	94 a 100	100 a 107	107 a 115	115
P	85	85 a 92	92 a 99	99 a 106	106 a 116	116
K	96	96 a 105	105 a 115	115 a 126	126 a 138	138
Zn	80	80 a 88	88 a 97	97 a 107	107 a 119	119
B	67	67 a 83	83 a 100	100 a 118	118 a 133	133

As equações do relacionamento entre a Chance Matemática Relativa do crescimento relativo em volume de tronco e os índices DRIS para os nutrientes N, P, K, Zn e B, encontram-se na Tabela 12, e, na sequência, são apresentados os valores de referência propostos para interpretação desses índices (Tabela 13).

Tabela 12: Equações ajustadas para a Chance Matemática Relativa do crescimento relativo em volume de tronco de árvores (y) de eucalipto no Brasil e o índice DRIS (X) de N, P, K, Zn e B na folha.

Nutriente	Equação	Intervalo	r _{ŷy}	n
N	$\hat{y} = (97,4556 + 31,5543 x) / (1 + 0,0842 x + 0,6519 x^2)$	$\forall -3,0 \leq iDRIS \leq 11,1$	0,96	57
P	$\hat{y} = (95,7929 + 12,8380 x + 7,3240 x^2) / (1 - 0,6089 x + 1,2322 x^2)$	$\forall -3,0 \leq iDRIS \leq 12,5$	0,97	51
K	$\hat{y} = (93,93579 + 40,72235 x) / (1 + 0,0327 x + 0,5344 x^2)$	$\forall -2,2 \leq iDRIS \leq 16,3$	0,98	51
Zn	$\hat{y} = (96,3475 + 18,7737 x + 6,1474 x^2) / (1 - 0,3492 x + 1,0062 x^2)$	$\forall -3,2 \leq iDRIS \leq 13,7$	0,97	48
B	$\hat{y} = (102,8192 - 10,1911 x + 10,4548 x^2) / (1 - 0,44149x + 1,2571 x^2)$	$\forall -13,0 \leq iDRIS \leq 11,4$	0,98	35

Tabela 13: Faixas de suficiência para os índices DRIS de N, P, K, Zn e B em folhas de eucalipto no Brasil, derivados do método da chance matemática relativa aplicada ao crescimento relativo em volume de tronco.

	Deficiente e	Tendência a Suficiente	Suficiente	Alta	Tendência a Excesso	Excesso
	< 70 % CR	70 % ≤ CR < 90%	90 % ≤ CR < 100%	100 % ≥ CR > 90%	90 % ≥ CR > 70%	< 70 % CR
N	<-0,549	-0,549 a -0,215	-0,215 a 0,160	0,160 a 0,627	0,627 a 1,115	≥ 1,115
P	<-0,250	-0,250 a -0,021	0,021 a 0,312	0,312 a 0,619	0,619 a 0,936	≥ 0,936
K	<-0,433	-0,433 a -0,086	-0,086 a 0,300	0,300 a 0,869	0,869 a 1,457	≥ 1,457
Zn	<-0,347	-0,347 a -0,048	-0,048 a 0,280	0,280 a 0,632	0,632 a 1,006	≥ 1,006
B	<-1,214	-1,214 a -0,164	-0,164 a 0,149	0,149 a 0,455	0,455 a 0,571	≥ 0,571

Conforme observado nas tabelas 11 e 13, o limite inferior da classe suficiente e o superior da classe alta variaram entre os nutrientes, tanto para IBK quanto para os índices DRIS.

Quanto às faixas de suficiência para uso no método IBW, ao contrário do observado neste trabalho quando utilizado o método de linha de fronteira, pelo qual as faixas foram mais amplas, as faixas de suficiência correspondentes à faixa normal (Suficiente + Alta) foram mais estreitas que as próprias faixas estabelecidas

por Kenworthy (tabela 11). E, com exceção do K, o ponto ótimo permaneceu muito próximo a 100%.

Para os índices DRIS, as faixas também foram mais estreitas. Em geral, o limite inferior da faixa normal elevou-se e o limite superior, com exceção do K, permaneceu em torno dos limites estabelecidos por Beaufils. Para todos os nutrientes avaliados, houve desvios em relação ao ponto ótimo.

3.5 – Diferenças entre a Região de Fronteira e Chance Matemática Relativa – “Sesgo” entre as curvas

As equações obtidas para os relacionamentos entre o zIBK e o crescimento relativo da população de fronteira, e o zIBK com a chance matemática relativa, apresentados nas tabelas 5 e 10, são apresentadas, para melhor visualização conjunta, na figura 7.

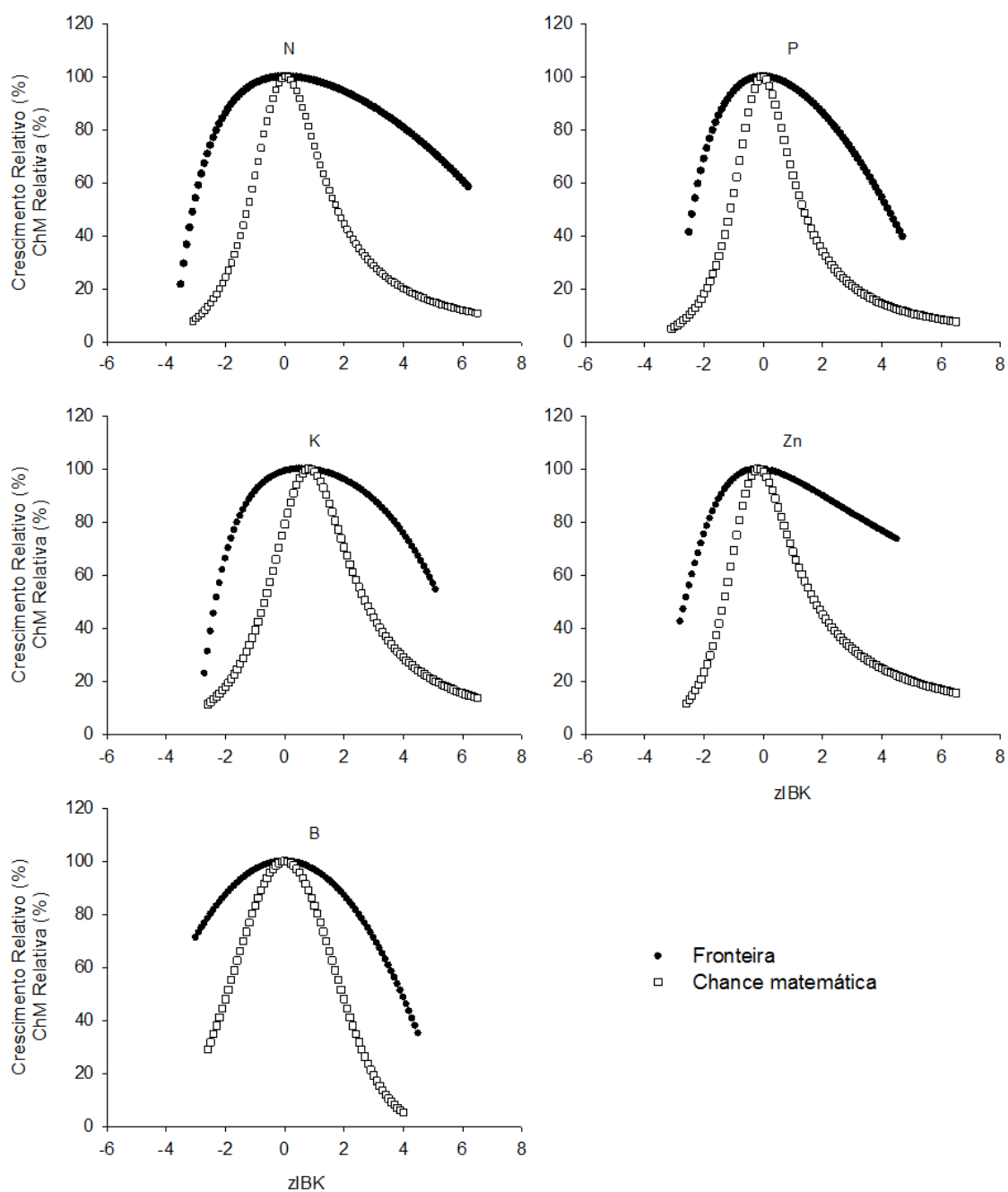


Figura 7: Crescimento relativo estimado para florestas de eucalipto em função do zIBKW de macro e micronutrientes para população de fronteira superior, e pela chance matemática.

Constata-se na figura 7, que os dois métodos, região de fronteira e chance matemática relativa, concordam quanto ao valor de zIBK em que o máximo de crescimento relativo é obtido para os nutrientes avaliados. Nota-se também, que a

medida que se afasta do valor ótimo de zIBK, vai sendo criada uma região entre as duas curvas, cuja integral constitui o “sesgo”, que pode possuir significado importante.

Na condição da fronteira, em que todos os fatores de produção estão em níveis adequados para a planta, as faixas de suficiência correspondentes à faixa normal (Suficiente + Alta) são ampliadas (Figura 7), o que permite deduzir que, se as condições são favoráveis para as plantas, altas produtividades são obtidas em uma faixa mais ampla do grau de balanço do nutriente (o teor do nutriente que define o início da faixa suficiente é menor, e o teor do nutriente que define o limite superior da faixa alta maior).

A produtividade ótima é função não apenas de se ter um único fator de produção otimizado, mas de se ter todos os fatores de produção nos níveis adequados, disso resulta que o ótimo de produtividade só ocorreria quando todos os fatores de produção estivessem nos seus respectivos níveis ótimos. Partindo dessa premissa, e assumindo que ao longo da linha de fronteira, as variações na produtividade reflitam apenas o efeito isolado de um dado fator de produção no caso, o grau de balanço do nutriente avaliado isoladamente, os demais fatores de produção estariam em níveis adequados.

Raciocinando com base na população de talhões utilizada como referência no método da Chance Matemática Relativa, (população com crescimento relativo maior que a média), em que por mais que se apure o manejo a eles aplicados, provavelmente não se consegue ter sempre todos os fatores de produção em níveis ótimos, os limites das faixas de suficiência derivados da utilização do método da Chance Matemática Relativa são mais estreitos, o que permite inferir que quando os demais fatores de produção (nutricionais - o grau de balanço de outros nutriente e o grau de equilíbrio nutricional; e não nutricionais) não se encontram em seus níveis ótimos, a planta necessita compensar, com a nutrição, limitações causadas por outros fatores, necessitando assim de teores de nutrientes mais elevados para atingir altas produtividades, e, por outro lado, tolerando menos teores bem mais excessivos.

As equações obtidas para os relacionamentos entre o crescimento relativo da população de fronteira e os iDRIS de N, P, K, Zn e B, tanto pelo método da região de fronteira como pela Chance Matemática Relativa, apresentadas nas tabelas 8 e

12, respectivamente, são também mostradas em forma de gráficos, para melhor visualização conjunta, na figura 8.

De modo semelhante ao verificado para os valores de referência para ZIBK, quando se utiliza o método da população de fronteira ou o Método da Chance Matemática Relativa, também para iDRIS, observa-se o estreitamento das faixas normal (Suficiente + Alta), tendência a Suficiente, e tendência a excessiva. Indicando que, quando os demais fatores de produção não estão em níveis adequados, a planta é mais sensível aos desequilíbrios nutricionais.

Observando a figura 9, que representa a condição de todos os demais fatores no ótimo, nota-se a influência do grau de equilíbrio com os demais nutrientes sobre a resposta do crescimento ao grau de balanço do nutriente considerado. Na fase ascendente, ou seja, em que o grau de balanço tende ao ponto ótimo, o equilíbrio exerce pouca influência na resposta, já na região à direita desse ótimo, o equilíbrio exerce maior influência. Esse fato nos leva a indagar se realmente existe efeito tóxico de um nutriente, ou apenas queda na produtividade por efeito de desequilíbrios nutricionais.

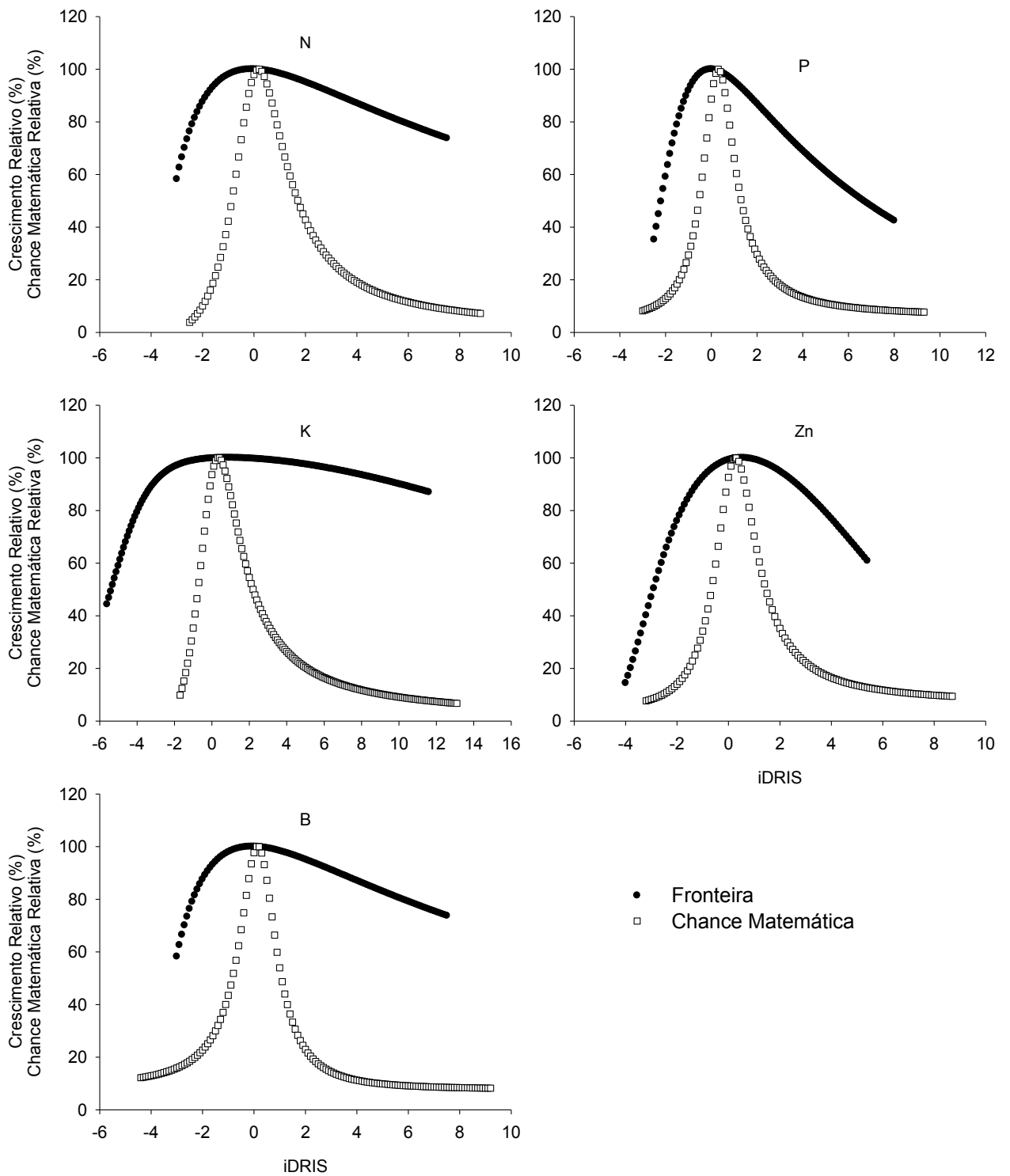


Figura 8: Crescimento relativo para florestas de eucalipto em função dos índices DRIS de macro e micronutrientes para população de fronteira superior, e pela Chance Matemática.

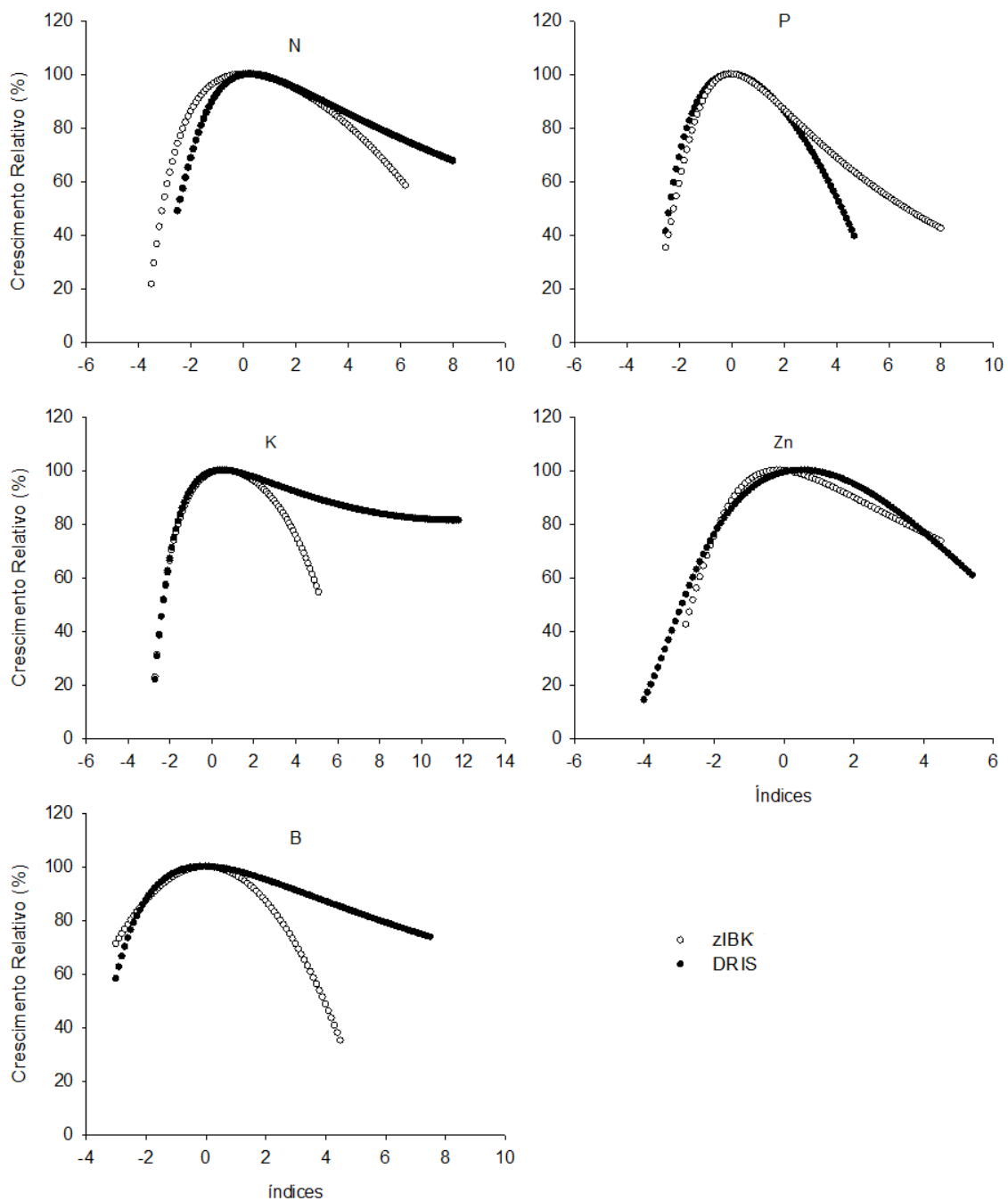


Figura 9: Gráfico das Curvas de Resposta Potencial do Crescimento Relativo em Volume de Tronco de Eucalipto no Brasil ao Grau de balanço (zIBK) e ao Grau de Equilíbrio (iDRIS), para N, P, K, Zn e B, obtidas pelo uso do método da região de fronteira.

3.6 – Diagnósticos dos plantios de eucalipto com base nos novos valores de referência.

Utilizando os valores de referência para interpretação dos índices balanceados de Kenworthy, propostos neste trabalho (Tabela 7), foi gerado o diagnóstico nutricional para os 9 530 talhões da base de dados, (todos os talhões menos os 78 talhões utilizados para a obtenção das normas), mostrado na tabela 14.

Tabela 14: Frequência de talhões em cada classe de diagnósticos dos Índices balanceados de Kenworthy, pelo método da fronteira, para os nutrientes N, P, K, Zn, B.

Classe ^{1/}	N	P	K	Zn	B
 %				
Limitante por falta	4,2	6,8	7,3	6,7	5,3
Suficiente	34,8	37,0	35,0	26,8	42,5
Alta	55,7	35,2	48,7	46,4	41,5
Limitante por excesso	5,3	21,0	8,9	20,0	10,7
ICL_A ^{2/}	61,6	48,7	58,2	63,4	49,4

^{1/}Limitante por falta (CR < 90 %), Suficiente (90 ≤ CR < 100%), Alta (100 % ≤ CR < 90% a direita), limitante por excesso (CR ≤ 90 % a direita).

^{2/} Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta)

Como discutido anteriormente, quanto à amplitude das faixas, por estas serem mais amplas do que as originalmente propostas por Kenworthy, nota-se que a grande maioria dos talhões avaliados neste trabalho (90,5 %, 72,2 %, 83,7 %, 73,2 % e 84,04 %, para N, P, K, Zn e B respectivamente) encontram-se na faixa normal (Suficiente + Alta). Vê-se que P (27,8 %) e o Zn (26,8 %) são os nutrientes mais frequentemente limitantes, seja por falta ou por excesso, respectivamente e B (15,96 %) e N (9,5 %), os menos frequentemente limitantes.

Contudo, observa-se que, exceto para P e B, a frequência de talhões da classe alta é maior do que a da classe Suficiente. Na realidade, a subdivisão da faixa normal em Suficiente e Alta, proposta inicialmente por Locatelli (2009) para soja e

posteriormente utilizada por Fernandes (2010) para plantios jovens de eucalipto em SP, permite um maior refinamento da diagnose, no sentido de possibilitar a identificação dos talhões em que possa haver um “consumo de luxo” do nutriente, indicado pela classe alta.

Nesse sentido, pode-se propor dois índices de “consumo de luxo”: um primeiro índice dado pela própria frequência relativa dos talhões na classe Alta (%) constante na tabela 15; e um segundo índice (ICL_A) pelo quociente da frequência de talhões na classe alta dividido pelo somatório das classes Suficiente e Alta.

Raciocinando, com base em toda a população diagnosticada, a sequência crescente quanto ao consumo de luxo indicada pela classe Alta é: $P < B < Zn < K < N$. Essa mesma sequência, também ocorre quando se considera o ICL_A da tabela 14.

A condição nutricional para ser adequadamente avaliada envolve considerar não apenas o grau de balanço, mas também, o grau de equilíbrio.

A ideia de que a avaliação do grau de equilíbrio, com base nos índices DRIS, não seja necessária em situações nas quais o grau de balanço de todos os nutrientes nos talhões esteja adequado (considerados neste como aqueles da classe suficiente) é correta, pois, nessa situação, não havendo nem falta, nem excesso, nem consumo de luxo do nutriente, esperadamente não haveria desequilíbrios nutricionais. No entanto, na prática, em apenas um número muito pequeno de talhões, essa situação é verdadeira. A propósito, neste trabalho, e considerando apenas os cinco nutrientes (N, P, K, Zn, B), apenas 2,52 % dos talhões possuem todos esses nutrientes na faixa suficiente. Logo, quando os 11 nutrientes rotineiramente avaliados nas análises de tecido forem diagnosticados, o percentual de talhões com todos os nutrientes na faixa Suficiente deverá muito menor, e assim ser extremamente pequeno. Assim, na prática, quase sempre é recomendável a avaliação também do grau de equilíbrio, pelo DRIS.

Utilizando os índices DRIS, que avalia o nutriente levando em consideração os demais, para fazer diagnósticos dos talhões em estudo, observa-se na tabela 15, com exceção do N, que a frequência de talhões na classe alta aumentou, principalmente para P, para o qual, essa frequência quase dobrou.

Tabela 15: Frequência de talhões em cada classe de diagnósticos dos Índices DRIS, pelo método da fronteira, para os nutrientes N, P, K, Zn, B.

Classe ^{1/}	N	P	K	Zn	B
 %				
Limitante por falta	1,7	2,0	0,1	4,1	1,5
Suficiente	43,9	27,00	49,6	40,7	49,2
Alta	52,8	59,3	49,9	50,0	47,9
Limitante por excesso	1,6	11,7	0,50	5,2	1,4
ICL_A	54,61	68,71	50,15	55,11	50,67

^{1/}Limitante por falta ($CR < 90\%$), Suficiente ($90 \leq CR < 100\%$), Alta ($100\% \leq CR < 90\%$ a direita), limitante por excesso ($CR \leq 90\%$ a direita).

^{2/} Índice de consumo de luxo: Alta / (Suficiente + Alta).

Vê-se que por este método, a frequência de nutrientes limitantes, seja por falta ou por excesso, diminuiu para todos os nutrientes, sendo igual a 3,3 % para N, 13,7 % para P, 0,6 % para K, 9,3 % para Zn, 2,9 % B. Conseqüentemente, observa-se também, com exceção do P, maior frequência de talhões na classe Suficiente.

A proposta do cálculo do índice de “consumo de luxo” segue o mesmo princípio. Avaliando com base em toda a população diagnosticada, a sequência crescente quanto ao consumo de luxo indicado pelo ICL_A é: $K < B < N < Zn < P$, sequência ligeiramente diferente quanto utilizamos apenas a classe alta para fazer inferência sobre o consumo de luxo, $K < B < N < Zn < P$.

A condição nutricional para ser adequadamente avaliada envolve considerar não apenas o grau de balanço, mas também, o grau de equilíbrio. A análise conjunta de toda base de dados, utilizando os índices Kenworthy e DRIS fornece uma avaliação do acerto da condição nutricional da floresta pela consideração conjunta do grau de balanço e do grau de equilíbrio nutricional (Tabela 16).

Tabela 16: Frequência de talhões (%) nas classes Suficiente e Alta resultante da avaliação conjunta dos Índices DRIS e Kenworthy, para N, P, K, Zn, B.

Classe ^{1/}	N	P	K	Zn	B
 %				
Suficiente	22,6	19,0	27,3	18,2	36,5
Alta	36,9	29,2	33,3	28,3	32,1

^{1/} Suficiente ($90 \leq CR < 100\%$) e Alta ($100\% \leq CR < 90\%$ a direita), com base no relacionamento, pelo método da linha de fronteira, do crescimento relativo em volume de tronco em função dos índices de balanço e de equilíbrio.

Nota-se que, quando se avalia conjuntamente o grau de balanço e o de equilíbrio, a frequência de talhões concordantes diminui para os cinco nutrientes em estudo. Por exemplo, para o nutriente N, quando se avalia apenas o grau de balanço, 34,8 % dos talhões encontram-se na faixa Suficiente, ao fazer análise conjunta com o equilíbrio, esse valor cai para 22,6 %.

Com base no valor de crescimento relativo utilizando para a definição da classe (Suficiente e Alta), um talhão em que todos os nutrientes se encontram na faixa normal deveria apresentar crescimento relativo entre 90 a 100 %, ou seja, se o único fator limitante fosse o nutriente, poderíamos admitir apenas 10 % de perda de produtividade. Observando a condição nutricional de um talhão escolhido de forma aleatória na base de dados, mas de modo a que todos os índices de balanço e de equilíbrio estivesse na classe Suficiente (Tabela 17) pode-se notar que a produtividade é de 81,5%, valor abaixo dos 90% que se poderia esperar caso apenas a produtividade deste talhão fosse limitada pela nutrição. Neste exemplo a perda de produtividade foi de 18,5 %, pode ser explicada por desvios da nutrição ideal dos demais nutrientes não avaliados neste trabalho, de fatores não nutricionais, ou ainda da interação entre eles. Com base numa análise desse tipo, considerando que todos os nutrientes estivessem na faixa Suficiente, perdas de produtividades maiores que 10 % do crescimento relativo seriam causadas por limitações não nutricionais, ou pela interação dessas com limitações nutricionais.

Tabela 17: Exemplo da condição nutricional de um talhão: Teor^{1/} dos nutrientes e seus respectivos Índice balanceado de Kenworthy (IBK) e DRIS, e do Crescimento Relativo Obtido

Nutriente	N	P	K	Zn	B	CR (%)
Teor ^{1/}	20,72	1,18	6,30	14,00	25,88	
IBK ^{2/}	100	97	86	97	77	81,5
DRIS ^{3/}	0,10	0,04	-0,41	0,03	-0,60	

^{1/}Teor de N, P e K em g/kg e Zn e B em mg/kg. ^{2/} IBK (%), ^{3/} unidades de desvio padrão

Esses resultados são uteis para nortear o aprimoramento do manejo da nutrição dos plantios de eucalipto no Brasil.

4 – CONCLUSÃO

A perda de produtividade dos plantios de eucalipto no Brasil, em volume de tronco, em relação às produtividades atingíveis decresce com a idade dos povoamentos, variando de 97,8 % com 1,5 ano a 49,6 % aos 6 anos.

Os plantios de eucalipto mais produtivos ao longo da rotação têm constância da condição nutricional, quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, sendo apresentados os valores ideais de teores e de relações duais entre teores.

Foram obtidos valores de referência para a avaliação do estado nutricional de plantios de eucalipto no Brasil ao longo da rotação, com base nos plantios mais produtivos do país.

Foram obtidas faixas de suficiência para a interpretação do estado nutricional de plantios de eucalipto no Brasil, ao longo da rotação, quanto ao grau de balanço e de equilíbrio, com base no crescimento relativo.

As faixas de suficiência obtidas são assimétricas quanto aos seus limites, diferentemente do tradicionalmente proposto na literatura.

A avaliação do estado nutricional, considerando balanço e equilíbrio, com base nas normas e faixas de suficiência propostas neste trabalho, pode subsidiar o aprimoramento do manejo da nutrição dos plantios de eucalipto no Brasil.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico da ABRAF: ano base 2012. Brasília, 145p. 2013.

Áliva, V. T. Critérios de seleção da população no estabelecimento de valores de referência para diagnose nutricional do eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2012. 66 p. (Dissertação de Mestrado).

Alvarez V.; V. H.; Leite, R. A. Fundamentos estatísticos das fórmulas usadas para cálculos dos índices DRIS. B. inf. SBCS, v. 24, p. 20-25, 1999.

Bataglia, O. C.; Dechen, A. R.; Santos, W. R. dos. Diagnose visual e análise de plantas. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 20. Piracicaba, 1992. Anais. Piracicaba, Fundação Cargill, p. 369-393, 1992.

Beaufils, E. R. Diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). Pietermaritzburg, University of Natal, South Africa, 132p, 1973. (SoilSci. Bulletin, 1).

Black, C.A. Soil Fertility Evaluation and Control. Lewis Publisher, 1992, 746p

Blanco-Macías, F.; Magallanes-Quintanar, R.; Valdez-Cepeda, R. D.; Vázquez-Alvarado, R.; Olivares-Sáenz, E.; Utiérrezornelas, E.; Vidales-Contreras, J. A. Comparasion between CND Norms and boundary-line approach nutrientes standards (*Opuntia ficus-indica* L. Case). Revista Chapingo, Serie Horticultura, v.15(2), p.217-223, 2009.

Borges, J. S. Modulador edáfico para uso em modelo ecofisiológico e produtividade potencial de povoamentos de eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2012. 70 p. (Tese de Doutorado).

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.

EVANYLO, G.K., SUMNER, M.E. Utilization of the Boundary Line approach in the development of soil nutrient norms for soybean production. Commun. Soil Sci. Plant. Anal., v.18, p:1379-1401, 1987

Evenhuis, B. & Waard, P. W. F. Principles and practices in plant analysis. In: FAO, Soils. Rome, p.152-163, 1980 (FAO. Bulletin, 38/1).

Fernandes, V. F. Normas e determinação de faixas de suficiência para diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2010. 83p. (Dissertação de Mestrado).

Holland, D. A. The interpretation of leaf analysis. J. Hort. Sci., v. 41, p. 311-329, 1966.

Jones, C. A. Proposed modifications of the Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS) of interpreting plant analysis. Commun. Soil Sci. Pl. 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 fertilizer problems. Washington : American Institute of Biological Science, p.28-43, 1961.

Kurihara, C. H. Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 101 f., 2004 (Tese de Doutorado).

Locatelli, M. V. Diagnose nutricional de lavouras de soja da região de Campo Novo dos Parecis, Mato Grosso. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 50 f., 2009 (Dissertação de Mestrado).

Lourenço, H. M. Crescimento e eficiência do uso de água e nutrientes em eucalipto fertirrigado. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2009. 145p. (Dissertação de Mestrado).

Malavolta, E. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações, 2.ed., Piracicaba, POTAFOS, 319p., 1997.

Neves, J. C. L. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campos dos Goytacazes, RJ. Universidade Estadual do Norte Fluminense. 2000. 191 p. (Tese de Doutorado).

Neves, J. C. L.; Barros, N. F.; Novais, R. F.; Leite, R. A.; Alvarez, V., V. H.; Silva, I. R. Monitoramento Nutricional e Recomendação de Adubação. In: Encontro Brasileiro de Silvicultura, 2008, Curitiba. Encontro Brasileiro de Silvicultura, v. 1, p. 51-60, 2008.

Oliveira, A. P. Índice "S" e suas relações com características físicas de solos e com a produtividade de eucalipto. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2010. 50p. (Tese de Doutorado).

Reis Junior, R. A.; Monnerat, P. H. Sugarcane nutritional diagnosis with DRIS norm established in Brasil, South Africa, and the United States. **J. Plant Nut.**, v. 25, p. 2831-2851, 2002.

Rocha, J. B. O. Diagnose nutricional de plantios jovens de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo e Sul da Bahia. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2008. 56p. (Dissertação de Mestrado).

Schnug, E., Heym, J., Achwan, F. Establishing critical values for soil and plant analysis by means of the Boundary Line Development System (Bolidex). *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, v.27, p.2739-2748, 1996.

Silva, G. G. C. Diagnose nutricional do eucalipto pelo DRIS, M-DRIS e CND. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 132p. (Dissertação de Mestrado).

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. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 29, p. 755 – 761, 2005.

SNIF – Sistema Nacional de Informações Florestais - <http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/as-florestas-plantadas>. Acessado em 01/05/2015.

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. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1996. 123p. (Tese de Doutorado)

Wadt, P. G. S.; Alvarez V, V. H.; Novais, R. F.; Fonseca, S.; Barros, N. F. de. O Método da Chance Matemática Na Interpretação de Dados de Levantamento Nutricional de Eucalipto. *R. Bras. Ci. Solo.*, v. 22, p. 773-778, 1998a.

Wadt P. G. S, Novais R. F., Alvarez V., V. H., Fonseca S.; Barros, N. F. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos dris e Chance Matemática. *R. Bras. Ci. Solo*, v.22, p.685-692, 1998b.

Walworth, J. L.; Letzsch, W. S.; Sumner, M. E. Use of boundary lines in establishing diagnostic norms. *Soil Sci. Soc. Am. J.* v. 50; p. 123-128. 1986.

Webb, R.A. Use of the Boundary Line in the analysis of biological data. *J. Hort. Sci* v.47, p:309-319, 1972