INTENSIDADE E LOCAL DE AMOSTRAGEM
PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE
POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.

SILVIA CRISTINA VETTORAZZO
Bióloga

Orientador: Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da
Universidade de São Paulo, para obtenção
do título de Doutor em Agronomia, Área de
Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro de 1994

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Vettorazzo, Silvia Cristina

V588i Intensidade e local de amostragem para avaliação
nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* L. Piracicaba, 1994.

114p. ilus.

Tese - ESALQ

Bibliografia.

1. Pinheiro - Amostragem 2. Pinheiro - Diagnose foliar 3. Pinheiro - Nutrição I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 634.9751

INTENSIDADE E LOCAL DE AMOSTRAGEM
PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE
POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.

SILVIA CRISTINA VETTORAZZO

Aprovada em : 28.04.1994

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto ESALQ/USP

Prof. Dr. Antônio Natal Gonçalves ESALQ/USP

Prof. Dr. José Leonardo de Moraes Gonçalves

Prof. Dr. Sérgio Valiengo Valeri FMVAJ/UNESP

Dr. Antônio Francisco Jurado Bellote CNPF/EMBRAPA

Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO
Orientador

AGRADECIMENTOS

Ao Prof Dr Hilton Thadeu Zarate do Couto pela orientação e grande apoio para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa - CNPQ, pela concessão da bolsa de estudo para a realização do curso.

A Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, pelo suporte financeiro para a execução das análises foliares.

A empresa Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A. - KEPC, pelo suporte técnico e financeiro para a coleta do material utilizado e execução das análises de solo e planta.

Ao Prof Dr. Quirino A. de Camargo Carmello e as laboratoristas do Setor de Nutrição de Plantas do Departamento de Química da ESALQ, pelo auxílio nas análises químicas de solo e planta.

Ao meu marido Fernando pela relevante colaboração para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

Página

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
SUMMARY	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Considerações gerais sobre a avaliação nutricional através da análise foliar	3
2.2. Amostragem para avaliação nutricional de florestas.....	5
2.2.1. Seleção das árvores	6
2.2.2. Redistribuição de nutrientes folia- res na copa das árvores	9
2.2.3. Posição de amostragem na copa	12
2.2.4. Estágio fisiológico da folha	14
2.2.5. Estação do ano mais favorável para amostragem	16
2.2.6. Número de árvores a serem amostradas	19
2.2.7. Erros das estimativas dos teores de nutrientes	20
2.3. Amostragem para avaliação nutricional de povoamentos de espécies de <i>Pinus</i>	22
3. MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1. Descrição geral da área estudada	26
3.1.1. Localização	26
3.1.2. Relevo	26
3.1.3. Clima	26
3.1.4. Vegetação primária	28
3.2. Solos	28
3.3. Povoamentos	28
3.4. Caracterização dos solos dos povoamentos .	29
3.5. Amostragem para avaliação nutricional dos povoamentos	31
3.5.1. Seleção das árvores	31
3.5.2. Amostragem das acículas	34
3.6. Análise química das acículas	35
3.7. Análise dos dados	35
3.7.1. Análise estatística	35
3.7.2. Número de árvores a serem amostradas	37
3.7.3. Critério para a escolha do local e intensidade de amostragem	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Nitrogênio	40
4.1.1. Efeito da idade do povoamento	40
4.1.2. Efeito da estação do ano	42

4.1.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	42
4.1.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	44
4.1.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	45
4.1.6.	Recomendação de amostragem	46
4.1.7.	Avaliação do estado nutricional ...	47
4.2.	Fósforo	48
4.2.1.	Efeito da idade do povoamento	48
4.2.2.	Efeito da estação do ano	50
4.2.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	50
4.2.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	51
4.2.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	52
4.2.6.	Recomendação de amostragem	53
4.2.7.	Avaliação do estado nutricional ...	54
4.3.	Potássio	55
4.3.1.	Efeito da idade do povoamento	55
4.3.2.	Efeito da estação do ano	57
4.3.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	57
4.3.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	58
4.3.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	59
4.3.6.	Recomendação de amostragem	60
4.3.7.	Avaliação do estado nutricional ...	61
4.4.	Cálcio	62
4.4.1.	Efeito da idade do povoamento	63
4.4.2.	Efeito da estação do ano	63
4.4.3.	Efeito da posição da árvore na povoamento	63
4.4.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	65
4.4.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	66
4.4.6.	Recomendação de amostragem	66
4.4.7.	Avaliação do estado nutricional ...	67
4.5.	Magnésio	68
4.5.1.	Efeito da idade do povoamento	68
4.5.2.	Efeito da estação do ano	70
4.5.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	70
4.5.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	71

4.5.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	71
4.5.6.	Recomendação de amostragem	72
4.5.7.	Avaliação do estado nutricional ...	72
4.6.	Enxofre	73
4.6.1.	Efeito da idade do povoamento	74
4.6.2.	Efeito da estação do ano	74
4.6.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	74
4.6.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	76
4.6.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	77
4.6.6.	Recomendação de amostragem	77
4.6.7.	Avaliação do estado nutricional ...	78
4.7.	Boro	78
4.7.1.	Efeito da idade do povoamento	80
4.7.2.	Efeito da estação do ano	80
4.7.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	80
4.7.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	81
4.7.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	81
4.7.6.	Recomendação de amostragem	82
4.7.7.	Avaliação do estado nutricional ...	82
4.8.	Cobre	83
4.8.1.	Efeito da idade do povoamento	83
4.8.2.	Efeito da estação do ano	85
4.8.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	85
4.8.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	86
4.8.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	87
4.8.6.	Recomendação de amostragem	87
4.8.7.	Avaliação do estado nutricional ...	87
4.9.	Ferro	88
4.9.1.	Efeito da idade do povoamento	90
4.9.2.	Efeito da estação do ano	90
4.9.3.	Efeito da posição da árvore no povoamento	90
4.9.4.	Efeito da posição de amostragem na copa	91
4.9.5.	Efeito do estágio fisiológico da acícula	91
4.9.6.	Recomendação de amostragem	92
4.9.7.	Avaliação do estado nutricional ...	92

4.10. Manganês	93
4.10.1. Efeito da idade do povoamento	95
4.10.2. Efeito da estação do ano	95
4.10.3. Efeito da posição da árvore no povoamento	95
4.10.4. Efeito da posição de amostragem na copa	96
4.10.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula	97
4.10.6. Recomendação de amostragem	97
4.10.7. Avaliação do estado nutricional ..	98
4.11. Zinco	99
4.11.1. Efeito da idade do povoamento	99
4.11.2. Efeito da estação do ano	99
4.11.3. Efeito da posição da árvore no povoamento	101
4.11.4. Efeito da posição de amostragem na copa	102
4.11.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula	102
4.11.6. Recomendação de amostragem	102
4.11.7. Avaliação do estado nutricional ..	103
5. CONCLUSÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa do Estado do Paraná, mostrando a localização da área estudada	27
Figura 2. Diagrama esquemático mostrando os locais de amostragem dentro da árvore: posição na copa e estágio fisiológico das acículas	36

LISTA DE QUADROS

Página

Quadro 1. Esquema da análise de variância dos dados utilizado para avaliar a amostragem	38
Quadro 2. Esquema da análise de variância dos dados empregado para comparar efeito da idade do povoamento e da estação do ano.	39
Quadro 3. Esquema da análise de variância dos dados utilizado para comparações gerais entre os fatores estudados	39

LISTA DE TABELAS

Página

Tabela 1.	Caracterização dos povoamentos de <i>P. taeda</i>	30
Tabela 2.	Características dendrométricas dos povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Dados do inventário de fevereiro de 1992	30
Tabela 3.	Análise química de amostras de solos coletadas nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i>	32
Tabela 4.	Análise granulométrica de amostras de solos coletadas nos povoamentos de <i>Pinus taeda</i>	33
Tabela 5.	Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do nitrogênio (N) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	41
Tabela 6.	Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do fósforo (P) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	49
Tabela 7.	Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do potássio (K) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	56
Tabela 8.	Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do cálcio (Ca) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	64
Tabela 9.	Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do magnésio (Mg) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	69

Tabela 10. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do enxofre (S) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	75
Tabela 11. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do boro (B) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	79
Tabela 12. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do cobre (Cu) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	84
Tabela 13. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do ferro (Fe) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	89
Tabela 14. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do manganês (Mn) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	94
Tabela 15. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do zinco (Zn) de povoamentos de <i>Pinus taeda</i> . Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento	100

INTENSIDADE E LOCAL DE AMOSTRAGEM PARA AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE POVOAMENTOS DE *Pinus taeda* L.

Autora: SILVIA CRISTINA VETTORAZZO

Orientador: Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

RESUMO

Este trabalho apresenta as variações nos teores de macro e micronutrientes das acículas de *Pinus taeda* L. Foram estudadas as variações dentro da árvore e entre árvores, entre as duas estações do ano mais importantes (verão e inverno), em duas idades (6 e 11 anos), em sítios de baixa produtividade. Os povoamentos estudados localizam-se no Município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná.

Teores médios de N, P, Ca, Mg, S, B, Cu e Fe foram mais altos nas árvores mais jovens, enquanto os teores médios de K e Mn foram mais altos nas árvores mais velhas. Os teores médios de Zn foram relativamente estáveis com o aumento da idade da árvore.

No inverno, os teores médios de N, P, Fe, Mn e Zn foram mais altos do que no verão. Por outro lado, no verão, os teores médios de Ca, K e S foram mais altos do que no inverno. Os teores de Mg, B e Cu foram relativamente estáveis nas duas estações.

As acículas jovens (2-5 meses) mostraram teores mais altos de P, K, Mg, S, B e Zn do que as acículas maduras (1 ano), mas os teores de Ca, Fe e Mn foram mais altos nas acículas maduras. Os teores de Mg e Cu permaneceram estáveis entre os dois estágios fisiológicos das acículas.

Diferentes padrões de distribuição dos teores de nutrientes na copa das árvores foram identificados e variaram de um nutriente para outro.

Na prática, recomenda-se a amostragem para todos os nutrientes estudados durante o inverno, coletando-se acículas jovens do terço superior da copa, no mínimo em 20 árvores, selecionadas aleatoriamente em todas as classes de diâmetro, para um erro permissível de 10 a 20%.

Foram dadas sugestões de amostragem específicas para cada nutriente. Em ordem crescente, a intensidade de amostragem foi: $N = P < K < Fe < B < Mg < Zn < S < Mn < Ca < Cu$. Para um erro de 10%, o tamanho da amostra variou de 5 árvores para N e P a 82 árvores para Cu.

SIZE AND PLACE OF SAMPLING FOR NUTRITIONAL EVALUATION OF STANDS OF *Pinus taeda* L.

Author: SILVIA CRISTINA VETTORAZZO

Adviser: Prof. Dr. HILTON THADEU ZARATE DO COUTO

SUMMARY

This paper deals with the variations in the foliar levels of macro and micronutrients in loblolly pine (*Pinus taeda* L.) trees. It were studied the variations between and within trees, among the two most important seasons (summer and winter), at two ages (6 and 11 years), in sites of low productivity. This study was done in the county of Telemaco Borba, State of Parana, Brazil.

The foliar levels of N, P, Ca, Mg, S, B, Ca and Fe were higher in the youngest stand, while K and Mn were higher in the oldest stand. Foliar of Zn were relatively constant through the ages.

In the winter, the levels of N, P, Fe, Mn and Zn were higher than in the summer. On the other hand, in the summer, the levels of Ca, K and S in the needles were higher. Magnesium, B and Cu levels were stable in the two seasons.

Young needles (current year's growth) showed higher levels of P, K, Mg, S, B, and Zn than older needles (1 year), but the levels of Ca, Fe and Mn were higher in the older ones. Magnesium and Cu levels were stable in the two stages of growth of needles.

Several patterns of foliar nutrient distribution in the tree crown were identified, and varied from a nutrient to another.

For practical purposes, it is recommended that sampling for nutritional evaluation of loblolly pine, should be done during the winter season, collecting young needles in the upper position of the crown, in at least 20 trees, randomized selection in all diameter classes, for a sampling error of 10 to 20%.

This paper gives suggestions for sampling each foliar nutrient level. Sample sizes increases in the following sequence: $N = P < K < Fe < B < Mg < Zn < S < Mn < Ca < Cu$. For sampling error of 10%, sample sizes varied from 5 trees for N and P to 82 trees for Cu.

1. INTRODUÇÃO

O uso sucessivo de rotações curtas tem aumentado as frequências de distúrbios no solo e geralmente, acarretado perdas diretas ou elevado o potencial de perda de nutrientes dentro do sistema solo-planta. Paralelamente, têm sido observado uma maior ocorrência de problemas nutricionais em povoamentos florestais. Estes resultados relacionam-se, principalmente, com a utilização de áreas marginais cujos solos possuem baixa fertilidade natural, aliada à grande demanda por nutrientes do solo para o rápido crescimento da floresta.

De modo geral, as espécies do gênero *Pinus* têm sido consideradas pouco exigentes em termos nutricionais. No entanto, investigações realizadas em plantações de espécies de *Pinus* nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul têm constatado níveis deficientes de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, cobre e zinco em acículas e redução no crescimento em solos bastante depauperados por queimadas constantes e lixiviação.

A análise foliar, juntamente, com a análise química de solo e a análise de crescimento das árvores constituem-se em métodos fidedignos para detectar deficiências específicas ou avaliar o estado nutricional das árvores, sendo essenciais para a nutrição e fertilização florestal. Contudo, nas etapas de amostragem e interpretação dos resultados da análise foliar ainda existem muitos problemas.

A utilização de um esquema rígido de amostragem ajuda a resolver apenas um destes problemas, que é a minimização da variabilidade dos teores de nutrientes dentro da árvore. Outro problema, tão importante quanto o primeiro,

é a obtenção de dados que sejam representativos de toda a população de árvores.

Na prática, é preciso desenvolver procedimentos de amostragem para avaliação nutricional de povoamentos florestais razoavelmente simples e eficientes para serem empregados em operações de rotina. Estes procedimentos devem incluir as seguintes variáveis: posição da árvore no povoamento, estágio fisiológico da folha, posição da folha na copa, estação do ano e número mínimo de árvores à serem amostradas. Com a padronização da amostragem, os problemas de erros de interpretação dos dados podem ser resolvidos através do estabelecimento de faixas críticas dos vários elementos, para as diferentes espécies, nas diferentes condições edafo-climáticas.

O presente trabalho tem como objetivos:

(a) Quantificar as variações dos teores de macro e micronutrientes das acículas dentro da árvore, entre árvores e entre parcelas, em povoamentos de *Pinus taeda*;

(b) Estimar o local de amostragem com maior estabilidade e sensibilidade em refletir variações dos teores decorrentes do fornecimento de nutrientes;

(c) Estimar a intensidade de amostragem para cada nutriente;

(d) Formular procedimentos de amostragem para avaliação nutricional através da análise foliar de povoamentos de *P. taeda*, devido a sua importância para a produção de madeira no Brasil.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações gerais sobre a avaliação nutricional através da análise foliar

A análise química de plantas, através da determinação do teor ou conteúdo de elementos, dentro de um órgão ou componente específico do vegetal num determinado estágio de crescimento, reflete diretamente o estado nutricional ou as necessidades nutricionais da planta (MEAD, 1984). As metodologias de análise consistem da determinação quantitativa de elementos minerais, essenciais (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Cl) e de alguns não essenciais (Al, Na e Si), que influenciam processos que ocorrem nos diversos órgãos das plantas.

Na interpretação dos resultados da análise química de plantas para avaliação do estado nutricional procura-se estabelecer correlações entre teores na planta e crescimento vegetal ou produção (TAMM, 1964; VAN GOOR, 1965; MALAVOLTA *et al.*, 1989), teores na planta e fertilidade do solo (VAN GOOR, 1965; MEAD, 1984), teores na planta e características morfológicas ou genéticas (DAVIS, 1949; SHEPPARD & CANNELL, 1985).

Segundo RAIJ (1991a), a análise química de solo é insuficiente para garantir um monitoramento do estado nutricional das plantas. A ocorrência de nutrientes no solo em quantidades disponíveis consideradas suficientes não indica que a planta está utilizando tais elementos, pois vários fatores podem afetar a absorção, como disponibilidade de água, aeração, temperatura do solo e presença de microrganismos. Além disto, para diversos nutrientes não há, até o presente, critérios adequados de análise de solo. RAIJ (1988) mostrou

que, para culturas agrícolas, a análise do solo é eficaz principalmente para determinar o teor de potássio, cálcio e magnésio e, também, o teor de fósforo pelo método da resina. Para os outros nutrientes do solo, ainda segundo RAIJ (1988), ficaria um campo aberto para a análise química de plantas. No entanto, para as espécies florestais, particularmente as coníferas, a determinação do fósforo total do solo provavelmente seria mais recomendada. Isto pode ser explicado pela grande eficiência das árvores para a absorção do fósforo, que relaciona-se com as associações micorrízicas.

O suprimento inadequado de nutrientes, seja pela falta, excesso, ou mesmo desbalanço, pode promover distúrbios nas reações fisiológicas. BAULE & FRICKER (1970) relataram que estes desequilíbrios nutricionais podem restringir o crescimento e aumentar o estresse, ocasionando a predisposição e susceptibilidade à pragas e doenças. A sintomatologia vegetal e a análise química de plantas poderiam avaliar estes sintomas. Entretanto, na interpretação dos sintomas visuais, que é o método mais rápido e barato para a avaliação nutricional, podem ocorrer dificuldades quando uma planta apresenta falta de mais de um nutriente, ou quando a deficiência de um nutriente aparece simultaneamente com o excesso de outro (TAMM, 1964).

A parte da planta mais utilizada para a avaliação nutricional é a folha, pois este é o órgão que melhor reflete o estado nutricional da maioria dos elementos, principalmente àqueles que afetam diretamente a fotossíntese (SMITH, 1962). Assim, a análise foliar baseia-se na premissa que a folha é o principal sítio do metabolismo, que mudanças no suprimento de nutrientes são refletidas na composição de nutrientes da folha e que os níveis de elementos foliares em determinados estágios de crescimento estão associados com as produções (BOULD, 1983; RAIJ, 1991a).

A análise foliar é uma técnica para a identificação de problemas nutricionais que deve ser considerada juntamente com outros critérios diagnósticos, tais como a análise de solo, sintomatologia visual de deficiência ou toxidez, análise de crescimento, uso de plantas indicadoras e a experimentação (ZÖTTL, 1966; BATAGLIA & DECHEN, 1986).

Segundo MORRISON (1974), a análise foliar geralmente correlaciona-se melhor com o crescimento das árvores do que outras técnicas diagnósticas. Assim, este método apresenta um grande potencial para o monitoramento do crescimento e do estado nutricional de povoamentos florestais.

2.2. Amostragem para avaliação nutricional de florestas

A amostragem é, sem dúvida, a fase onde ocorrem os erros que mais dificultam a interpretação dos resultados da análise foliar, podendo ocasionar tomadas de decisões distante da realidade. Desta maneira, a padronização é necessária para minimizar os efeitos dos diversos fatores que afetam a composição das folhas, como estágio de crescimento da árvore, tipo de árvore, estágio fisiológico da folha, posição da folha na copa, estação do ano em que é colhida a folha, efeito de genótipos, condições climáticas, tipo de manejo, presença ou ausência de frutos e condições fitossanitárias (MILLER, 1966; RAUPACH, 1967; BAULE & FRICKER, 1970; LEAF, 1973; VAN DEN DRIESCHE, 1974; LAMB, 1976; YOUNG & CARPENTER, 1976; SCHÖNAU, 1981; PAYN & CLOUGH, 1987; LAMBERT & TURNER, 1988; BELLOTE, 1979, 1990; VETTORAZZO, 1989; RAIJ, 1991a).

Basicamente, devem ser amostradas folhas que tenham a maior estabilidade possível em relação à fatores que afetam a composição mineral e sejam sensíveis em refletir variações de composição decorrentes do fornecimento de nutrientes. No entanto, como o teor foliar de cada um dos elementos essenciais pode apresentar uma variação específica, pode haver necessidade de procedimentos próprios de amostragem para cada nutriente.

Entretanto, segundo TAMM (1964), a padronização de procedimentos de amostragem não é garantia de que os teores das folhas refletirão realmente o estado nutricional das plantas, porque o teor de nutriente num certo tecido é resultante de vários processos interrelacionados, como suprimento externo de nutrientes, absorção pela planta, redistribuição e crescimento. Em razão disto, se o crescimento aumenta mais que a absorção, o resultado será teores mais baixos, que é conhecido como efeito de diluição. Portanto, na interpretação dos resultados da análise foliar é importante fazer associações com crescimento da planta, disponibilidade de nutrientes do solo e índices de pluviosidade e de temperatura.

2.2.1. Seleção de árvores

O tipo de árvore a ser amostrada é um dos principais problemas da amostragem para avaliação nutricional de florestas. Entre os métodos de amostragem empregados para a coleta de dados, os mais utilizados para a seleção das árvores são: a amostragem simples ao acaso (HOCKMAN *et al.*, 1989); a amostragem ao acaso estratificada por classes sociológicas (VAN DEN DRIESSCHE, 1974) ou por classes de diâmetro (HEILMAN & GESSEL, 1963; VAN DEN DRIESSCHE, 1974) e a amostragem estratificada sistemática (COMERFORD & LEAF, 1982). Para um povoamento onde a estratificação é necessária, a primeira etapa, a partir dos dados do inventário, é a seleção de árvores cobrindo toda a variação das classes de diâmetro ou classes sociológicas (VAN DEN DRIESSCHE, 1974).

A grande maioria dos trabalhos de amostragem para avaliação nutricional de povoamentos florestais baseia-se na seleção de árvores dominantes e/ou co-dominantes (GESSEL, 1962; LEAF, 1973; ZÖTTL, 1973; MEAD & PRITCHETT, 1974; COMERFORD, 1981; COMERFORD & LEAF, 1982; VALERI, 1988; BELLOTE, 1990; MORAIS *et al.*, 1990). De acordo com estes mesmos autores existem várias razões para somente amostrar

árvores dominantes e/ou co-dominantes: (1) estas árvores poderiam expressar melhor o potencial de produtividade do sítio, pois a maior parte do conteúdo de nutrientes de um povoamento está retido nas árvores de maior porte; (2) provavelmente por não serem sombreadas, apresentariam poucas diferenças quanto aos teores de nutrientes das folhas, minimizando a variabilidade nutricional que pode ser encontrada se outras classes sociológicas forem incluídas e (3) o tempo de amostragem aumenta muito quando são avaliadas árvores de todas as classes sociológicas. No entanto, se estas razões são verdadeiras, pode-se afirmar que: (1) a distribuição de nutrientes nas árvores de diferentes classes sociológicas é a mesma em povoamentos sob solos de baixa, média e alta fertilidade e (2) a amostragem deve ser restrita às árvores de uma mesma classe sociológica, não sendo necessário a quantificação de toda a variabilidade nutricional do povoamento.

Segundo MADGWICK (1964), uma parte da variabilidade nutricional das árvores de um povoamento pode ser relacionada com classes sociológicas. Árvores suprimidas, geralmente, apresentam teores de nutrientes superiores àqueles encontrados nas árvores dominantes. Este fato, possivelmente, relaciona-se com a baixa taxa fotossintética das árvores suprimidas, causando pouca "diluição do nutriente", ou seja, um efeito de concentração. Por outro lado, nas árvores dominantes e co-dominantes, devido ao maior crescimento, os teores seriam mais baixos pelo efeito de diluição.

No entanto, será que a seleção aleatória de árvores dominantes e/ou co-dominantes pode resolver o problema da obtenção de amostras representativas da população de árvores, em termos nutricionais? Ainda não existe nenhuma resposta conclusiva a respeito desta questão, assim, é necessário avaliar árvores de todas as classes sociológicas, para assegurar a representatividade das árvores dominantes.

é importante ressaltar que num povoamento, a variável de maior variação é o diâmetro à altura do peito (DAP) e não a altura total das plantas. Além disto, o diâmetro relaciona-se com maior intensidade com a biomassa da árvore ou peso da matéria seca dos componentes das árvores (PINHEIRO, 1980). Deste modo, uma estimativa precisa dos teores de nutrientes do povoamento seria obtida através da amostragem ao acaso estratificada por classes de diâmetro, pois essa seria mais ampla e representativa. Deve-se também considerar que, sendo as áreas florestais muito extensas, a amostragem deve ser feita com um número adequado de árvores à custos aceitáveis.

BARROS *et al.* (1986) propuseram uma metodologia para a classificação nutricional de sítios florestais que considera, além das características edáficas, àquelas relacionadas ao crescimento das árvores e a dinâmica de nutrientes na fitomassa, através de coeficientes de utilização pelo eucalipto. O valor do coeficiente de utilização analítico (CUA) deriva do valor do coeficiente de utilização biológico do nutriente (CUB) e para que isto ocorra, precisa-se estabelecer parcelas de amostragem no campo onde "árvores representativas do sítio" seriam abatidas para a determinação do conteúdo de nutrientes e da biomassa. No entanto, estes mesmos autores não fazem qualquer consideração sobre a seleção das árvores, o número de parcelas e quantas árvores por parcela devem ser avaliadas.

De acordo com MADGWICK (1963), freqüentemente, pode-se encontrar altos teores de nutrientes em diversas partes das menores árvores de um povoamento, provavelmente devido à um efeito de concentração. Mas, algumas vezes, os teores são mais elevados nas maiores árvores e, outras vezes, nas árvores intermediárias. Para este autor, tais inconsistências indicam que nenhuma árvore média pode ser representativa do estado nutricional de um povoamento.

2.2.2. Redistribuição de nutrientes foliares na copa das árvores

Todos os nutrientes, uma vez absorvidos, são considerados capazes de se moverem livremente no xilema, conduzidos por fluxo de massa, para os tecidos transpirantes, como as folhas.

A redistribuição de nutrientes, que é principalmente via floema, ocorre dos tecidos maduros para as regiões em crescimento ativo. Deste modo, as folhas em crescimento podem receber nutrientes tanto via xilema como via floema (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979).

A mobilidade dos nutrientes dentro do floema varia grandemente. MALAVOLTA & MALAVOLTA (1989) classificam o cálcio (Ca) e boro (B) como **elementos imóveis** (ou quase **imóveis**); enxofre (S), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) como **pouco móveis** (ou **intermediários**) e nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), magnésio (Mg), molibdênio (Mo) e cloro (Cl) como **móveis**. Entretanto, numa outra classificação feita por BUKOVAC & WITTWER (1957), o S aparece como elemento altamente móvel e o Mo como intermediário. As diferenças entre estas classificações provavelmente devem-se ao pouco entendimento do papel bioquímico destes elementos nas diferentes espécies vegetais.

A redistribuição de cada um dos nutrientes dentro da árvore varia com a espécie considerada, a idade e o estágio de desenvolvimento da mesma, o teor do nutriente dentro de vários órgãos e tecidos, interações entre nutrientes, conteúdo de água e nutrientes do solo e manejo da floresta.

LONERAGAN *et al.* (1976), numa revisão sobre a redistribuição de nutrientes, mostraram que Cu, Zn e S são móveis apenas quando o teor é alto, mas a mobilidade é baixa em plantas deficientes nestes elementos. O teor de elementos imóveis pode ser adequado em folhas velhas, enquanto que, na

mesma planta, as folhas jovens podem exibir sintomas de deficiência. Elementos móveis como N, P e K geralmente movem-se a partir das folhas mais velhas, provocando sintomas de deficiência nas mesmas, mas as folhas jovens não mostram evidência de deficiência. Sendo assim, essas situações devem ser consideradas quando as folhas são amostradas para verificar deficiências minerais (KRAMER & KOZLOWSKI, 1979).

A redistribuição de micronutrientes dentro das árvores é geralmente mais restringida do que de N, P e K. Assim, geralmente os micronutrientes (exceto Cl e Mo) aumentam com a idade da folha, provavelmente, devido à um acúmulo passivo no fluxo transpiratório e à taxas de absorção relativamente baixas (LARCHER, 1977).

As evidências sugerem que a nutrição dos micronutrientes nas árvores influenciam fortemente a redistribuição dos tecidos velhos para os novos e, assim os teores de nutrientes entre estes tecidos. Para o boro, considerado o micronutriente de menor mobilidade no floema, tem sido relatado que a redistribuição deste elemento poderia ocorrer caso exista B disponível (mesmo em condições de deficiência) para ser translocado para órgãos novos em crescimento (HILL & LAMBERT, 1981).

WALLACE et al. (1986), estudando a nutrição do zinco em mudas de *Eucalyptus marginata*, mostraram que a mobilidade deste elemento no floema depende do estágio fisiológico da folha, teores foliares e do suprimento de outros nutrientes.

A redistribuição de nutrientes, também denominada de ciclagem interna, é considerada de grande importância, principalmente em povoamentos bem desenvolvidos, após a fase de fechamento das copas, tanto para florestas de eucaliptos (ATTIWILL, 1979, 1980) como de *Pinus* (JORGENSEN et al., 1975; MILLER, 1981). SWITZER & NELSON (1972) estimaram que a redistribuição supriu 39% do N, 60% do P, 22% do K, 24%

do Mg e 22% do S necessários anualmente pelas árvores de *P. taeda*, com 20 anos de idade.

Segundo ATTIWILL (1979) e MILLER (1981), no primeiro estágio de desenvolvimento da floresta (do plantio até o fechamento das copas), as árvores dependem inteiramente dos nutrientes disponíveis presentes no solo. No segundo estágio, ocorre uma intensa ciclagem de elementos móveis, como P e K, que é predominantemente bioquímica e a demanda de nutrientes do solo é baixa. Finalmente, no terceiro estágio, caracterizado pela intensa produção de serapilheira, a ciclagem é predominantemente biogeoquímica.

No entanto, FIFE & NAMBIAR (1982) verificaram que quantidades substanciais de nutrientes podem ser redistribuídas das acículas jovens de *Pinus radiata*, durante o verão. Para estes autores, a ciclagem interna nas árvores jovens pode ser tão importante e proporcionalmente grande quanto nas árvores velhas.

JORGENSEN *et al.* (1975), estudando a ciclagem de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* de 4 a 39 anos de idade, verificaram que o acúmulo máximo de nutrientes ocorreu entre 10 e 15 anos de idade, pouco antes do fechamento das copas. Aproximadamente metade dos nutrientes absorvidos foram utilizados pelas acículas jovens, um terço para o incremento do tronco e o restante para os ramos e raízes. As taxas de absorção e de acúmulo de nutrientes diminuíram com o aumento da idade do talhão, devido à redução das taxas de crescimento e dos nutrientes disponíveis no solo.

ATTIWILL (1980) observou que as necessidades nutricionais em florestas de *Eucalyptus obliqua* aumentam com a idade das árvores. Porém, grande parte destes nutrientes é fornecida pelo próprio ciclo biológico que assume maior importância a medida que a floresta atinge a maturidade.

A mobilização de nutrientes dentro da árvore ocorre frequentemente em níveis sub-ótimos de nutrição. Assim, de acordo com MILLER (1981), a ciclagem interna de nutrientes

é um eficiente mecanismo de economia de nutrientes que permite alta produtividade em solos de baixa fertilidade, mas as árvores precisam primeiramente ter acumulado quantidades suficientes de nutrientes.

2.2.3. Posição de amostragem na copa

A composição de nutrientes da folhagem varia tanto verticalmente como horizontalmente na copa das árvores.

Numerosos trabalhos apresentados na literatura discutem o efeito da posição de amostragem sobre o teor de nutrientes das folhas (WHITE, 1954; WILL, 1957; WELLS & METZ, 1963; MADGWICK, 1964; MEAD & PRITCHETT, 1974; COMERFORD, 1981; HOCKMAN *et al.*, 1989; BELLOTE, 1990).

Padrões de distribuição de nutrientes foliares na copa têm sido descritos na literatura. VAN DEN DRIESCHE (1974), com base em revisão de literatura, principalmente do gênero *Pinus*, descreveu cinco tipos de distribuição de nutrientes foliares, que são: tipo I - os teores de nutrientes mantêm-se constantes dentro da copa; tipo II - os teores aumentam da base para o topo da copa; tipo III - os teores aumentam do topo para a base da copa; tipo IV - os nutrientes acumulam-se no meio da copa, diminuindo em direção ao topo e a base da copa e tipo V - os nutrientes acumulam-se no topo e base da copa, diminuindo em direção ao meio da copa.

As informações sobre a distribuição dos nutrientes foliares ainda é inadequada para muitas espécies. Provavelmente, diferentes espécies possuam diferentes padrões de distribuição dos teores de nutrientes e, também é provável que, a extensão do fechamento da copa afete este padrão.

WILL (1957) avaliou a distribuição de nutrientes foliares em 4 árvores co-dominantes de *Pinus radiata*, amostrando diversas partes da copa e dois estágios fisiológicos das acículas. Os resultados obtidos indicaram um aumento dos teores de P, K e Ca do topo para a base das copas (tipo III), enquanto que para N e Mg não foi detectada variação em função da posição da copa (tipo I).

WELLS & METZ (1963), estudando a distribuição de nutrientes em acículas de *P. taeda*, constatou que os teores de N, Ca e Mg aumentaram do topo para a base da copa (tipo III), enquanto que os teores de P e K aumentaram da base para o topo da copa (tipo II). Por outro lado, SMITH *et al.* (1970) verificou que os teores de N das acículas aumentam da base para o topo da copa (tipo II). Estes resultados distintos, provavelmente, estão relacionados com diferentes condições de luminosidade para as copas.

A extensão do fechamento das copas, taxa de crescimento e disponibilidade de nutrientes, como fatores que também afetam os teores de nutrientes entre as posições da copa, foram analisadas por VAN DEN DRIESCHE (1974). De acordo com este autor, a região apical das plantas, por apresentar níveis muito altos de auxina, provavelmente, possui teores de nutrientes relativamente maiores do que as regiões mais distais. Assim, a eliminação das brotações apicais, possivelmente, removeria a influência da dominância apical ou efeito hormonal sobre o teor de nutrientes das folhas (HOCKMAN *et al.*, 1989).

Para alguns pesquisadores, a amostragem para a avaliação do estado nutricional das árvores deve ser feita coletando-se folhas da parte superior da copa, pois neste local as amostras seriam submetidas às mesmas condições de luminosidade. Assim, não haveria variação dos teores de nutrientes em função da folha estar ou não exposta à luz solar, principalmente, com relação àqueles elementos que estão envolvidos, direta ou indiretamente, no processo fotossintético, tais como: N, P, K, Mg, Fe, Cu, Zn, Mn e Cl (MOORBY & BESFORD (1983).

WHITE (1954) estudou a variação dos teores foliares de N, P e K na copa de árvores de *Pinus resinosa* e *P. strobus* (4 árvores/espécie), selecionadas pela uniformidade em altura e forma da copa. Este autor verificou que as acículas jovens do ano em vigência, da posição mediana da

copa, forneceram as amostras mais representativas da copa inteira.

WELLS & METZ (1963), analisando povoamentos de *P. taeda* com 5 anos de idade, considerou que as amostras de acículas da posição superior da copa foram mais representativas para comparar árvores. Na posição inferior da copa de árvores em competição por luz, pode ocorrer altos teores de nutrientes devido a baixa taxa fotossintética (efeito de concentração).

MADGWICK (1964) observou que o crescimento de árvores de *P. resinosa* correlacionou-se melhor com os teores foliares de K da parte inferior da copa viva do que com teores de outras partes da copa.

2.2.4. Estágio fisiológico da folha

Entre os diversos fatores que afetam os teores de nutrientes nas plantas, SMITH (1962) e MARSCHNER (1986) consideram que o estágio fisiológico da folha e o estágio de desenvolvimento da planta são os fatores mais importantes.

Com o avanço da idade das plantas, ocorrem declínios marcantes nos teores da maioria dos nutrientes em vários órgãos, com algumas exceções, como o Ca. Assim, no geral, cada elemento apresenta um padrão característico de mudanças num determinado tecido com seu desenvolvimento, maturidade e senescência (BOUMA, 1983). Para MARSCHNER (1986), essa diminuição nos teores de nutrientes é causada, principalmente, por um aumento relativo na produção de material estrutural (paredes celulares e lignina) e de compostos de reserva na matéria seca.

A avaliação do estado nutricional das plantas pode ser prejudicada com o aparecimento da variação dos teores foliares de nutrientes, que ocorre em função das diferenças de idade das folhas. Assim, para que essa variação indesejável possa ser evitada, deve-se amostrar folhas do mesmo estágio fisiológico.

O estágio fisiológico da folha mais recomendável para amostragem depende do nutriente a ser analisado.

Para LEAF (1973), as folhas jovens crescidas no ano têm teores mais altos e, freqüentemente, apresentam menor variabilidade entre as árvores. No entanto, isto nem sempre ocorre para todos os elementos em todas as posições da copa (MEAD, 1984), já que os teores das folhas dependem de diversos fatores, entre estes da mobilidade do elemento na planta.

BOULD (1983) e MARSCHNER (1986), sugeriram que as folhas mais jovens sejam analisadas somente para elementos minerais que têm redistribuição limitada ou que não são redistribuídos, como Ca, S e Mn, pois os sintomas de deficiência destes, geralmente, ocorrem primeiro nas folhas jovens e regiões de crescimento. Por outro lado, para elementos móveis, como N, P, K e Mg, desde que sejam mantidos relativamente constantes nas folhas mais jovens, as folhas maduras, fisiologicamente ativas, seriam melhores indicadores do estado nutricional, pois os sintomas de deficiência destes elementos, no geral, aparecem primeiro nos tecidos mais velhos. Entretanto, generalizações devem ser evitadas, já que a redistribuição de nutrientes, além de variar com o estágio fisiológico, depende também de outros fatores, como teor de nutrientes da folha e disponibilidade de nutrientes do solo.

WILL (1957) verificou que a variação dos teores de nutrientes em árvores de *P. radiata* foi a seguinte: Ca e P aumentaram com a idade das acículas, enquanto que N e Mg diminuíram. No entanto, resultados discordantes seriam esperados para o P, pois os teores deste elemento nas acículas jovens, geralmente, são superiores àqueles das maduras. Este fato pode ser explicado pela alta mobilidade do P na planta, juntamente com N e Mg, que redistribuem-se dos órgãos mais velhos para as partes novas em crescimento.

WELLS & METZ (1963), estudando a variação dos teores de nutrientes em árvores de *Pinus taeda*, verificaram que as acículas jovens do ano vigente mostraram maior sensibilidade às mudanças do estado nutricional de P e K do que as acículas com 1 ano de idade. Por outro lado, as acículas com um ano de idade foram mais sensíveis em refletir mudanças dos teores de Ca e Mg. Estes resultados discordam das suposições de BOULD (1983) e MARSCHNER (1986), provavelmente, porque em condições de campo não existe um controle sobre o suprimento de nutrientes do solo para a planta.

2.2.5. Estação do ano mais favorável para amostragem

Os teores de nutrientes das folhas são influenciados por fatores sazonais, que devem ser considerados nas etapas de amostragem e interpretação dos dados para avaliação nutricional de florestas (LEAF, 1973; VAN DEN DRIESCHE, 1974).

Variações dos teores de nutrientes podem ocorrer ao longo do ano, comparando-se folhas do mesmo estágio fisiológico, em função da redistribuição de nutrientes. EMMERT (1959) concluiu, com base numa revisão de literatura, que o conhecimento da mobilidade de nutrientes na planta pode auxiliar na escolha da estação do ano mais favorável para a coleta de material vegetal para a análise química.

Segundo BOUMA (1983), no geral, há três ou mais fases distintas de crescimento das folhas nas diversas culturas. Na primeira fase, quando a folha está expandindo-se mais rapidamente, as mudanças dos teores de nutrientes e variações durante o dia podem ser grandes. Associado à senescência, freqüentemente, ocorre redistribuição de elementos móveis para órgãos novos das plantas, conseqüentemente, mudanças significativas podem ocorrer no final da estação de crescimento. Para este autor, a coleta de folhas no meio da estação de crescimento seria recomendada para a maioria dos trabalhos de amostragem para avaliação nutricional, pois seria um período de relativa estabilidade.

LEAF (1973), no entanto, verificou que geralmente, ocorre uma redução do teor e do conteúdo de nutrientes móveis na folhagem durante a segunda metade da estação de crescimento, devido à redistribuição para as regiões mais novas, para o crescimento do ano seguinte e também como resultado da lixiviação das folhas pela chuva.

MADGWICK (1963) mostrou que, para obtenção de dados objetivando comparações entre diferentes talhões, a amostragem deveria ser realizada quando a distribuição de nutrientes dentro dos talhões estiver relativamente estabilizada. Para este autor, os períodos mais satisfatórios para amostragem foram o final da estação de crescimento (verão) ou durante o período de dormência (outono e inverno).

WHITE (1954) também recomendou que a amostragem para avaliação nutricional de *P. resinosa* seja feita no final do outono ou inverno. Nessas estações, as acículas, provavelmente, seriam menos afetadas por mudanças fisiológicas, isto é, os teores dos nutrientes seriam mais constantes. Essa tendência sazonal de níveis máximos de nutrientes no verão e mínimos no inverno também foi relatada para outras espécies florestais (LEYTON, 1948).

Por outro lado, MILLER (1966), estudando a variação de nutrientes das acículas de *P. taeda* em função da estação do ano para amostragem, não encontrou essa estabilidade no outono e no inverno, sendo que maiores diferenças nos teores de N, P e K ocorreram durante a primavera e outono, mas estas diferenças não foram estatisticamente significantes.

LEAF (1973) e VAN DEN DRIESSCHE (1974), baseados em revisões de literatura, sugeriram que a amostragem seja realizada durante a estação de menor crescimento, após a estação de maior crescimento. Para estes autores, como ocorre um estresse máximo de nutrientes neste período, informações

mais consistentes do estado nutricional das plantas seriam fornecidas pela análise foliar. Entretanto, o menor crescimento, além de estar diretamente relacionado com uma baixa disponibilidade de nutrientes do solo, também depende de outros fatores, como baixo teor de água no solo e baixa atividade fisiológica, principalmente em função de condições de temperatura e luminosidade, que influenciam na baixa taxa de produção de matéria seca.

Segundo MILLER (1966) e PAYN & CLOUGH (1987), nas localidades em que a temperatura média das mínimas do mês mais frio não é baixa, isto é, fica acima de 10°C, a suposição de um período dormente estável poderia não ser válida, especialmente, para espécies multinodais, como *P. taeda* ou *P. radiata*, que têm vários ciclos anuais de crescimento.

De acordo com GOODALL & GREGORY (1947), a estação do ano mais favorável para amostragem varia de nutriente para nutriente. Assim, pode-se esperar que uma estação do ano seja mais recomendável para alguns nutrientes, mas não para todos nutrientes.

MEAD & PRITCHETT (1974) sugeriram que, desde que os teores dos elementos mais móveis são influenciados pelo estresse ambiental, mais intensamente durante a estação de crescimento que no período dormente, as amostras de acículas para avaliação nutricional de *P. elliotii* var. *elliotii* deveriam ser coletadas durante o primeiro período, isto é, do meio ao fim do verão, para elementos como N, P, Mg e Zn. Por outro lado, estes autores notaram que o teor de K não tem uma estabilidade suficiente, ou seja, apresenta grandes variações, até o outono. Assim, a amostragem tanto para K, como para os elementos menos móveis, como Ca e Mn, deveria ser feita coletando-se acículas durante o outono e inverno.

Com relação às variações dos teores de K ao longo do ano, é preciso lembrar que este elemento é facilmente redistribuído internamente das folhas mais velhas para os órgãos mais novos. Além disto, como não forma composto dentro

das plantas, o K pode ser facilmente lixiviado pela chuva. Isto deve-se, em parte, ao fato que cerca de 75% do total deste elemento na planta encontra-se no tecido na forma solúvel (MALAVOLTA, 1980). Portanto, é importante ressaltar que, os teores de nutrientes nas plantas e a redistribuição dos mesmos relacionam-se com a disponibilidade de nutrientes e água do solo para as plantas. Assim, as generalizações sobre recomendações de elementos móveis e pouco móveis para avaliação nutricional devem ser evitadas, já que podem ser feitas conclusões errôneas.

MEAD (1984), através de revisão de literatura, verificou que as variações sazonais tendem a diferir marcadamente entre os nutrientes na maioria das espécies florestais. Para os elementos mais móveis, como N, P e K, existe uma tendência de teores mais baixos no meio do verão ou do outono, enquanto que para os pouco móveis, como Ca, há uma tendência de acúmulo durante o verão.

2.2.6. Número de árvores a serem amostradas

Qual o número mínimo de árvores que devem ser amostradas para avaliar o estado nutricional de um povoamento florestal ?

O número de árvores a serem amostradas (n), ou seja, a intensidade de amostragem, em determinados níveis de probabilidade e precisão das estimativas da média, depende da magnitude da variância da amostra (WEETMAN & WELLS, 1990).

A precisão com que o valor médio de qualquer teor foliar de nutriente pode ser estimado dependerá, provavelmente, da finalidade do estudo. Menor precisão, provavelmente, seja necessária para determinar a existência de deficiências nutricionais do que para estimar respostas quantitativas à fertilização (VAN DEN DRIESSEHE, 1974; SNOWDON & WARING, 1982). Além disto, o número mínimo de árvores a serem amostradas para representar as condições de uma área de amostragem varia em função do nutriente considerado.

Wehrmann¹ (1959), citado por LAVENDER (1970), verificou que pelo menos 10 árvores devem ser amostradas para estimar os teores de N e P de um povoamento de *Pinus sylvestris*, 30 árvores para K e Mg e 100 árvores para Ca.

MEAD & PRITCHETT (1974) estudaram a variação dos teores de nutrientes em 12 árvores co-dominantes, semelhantes quanto à altura, diâmetro e forma da copa de *P. elliottii* var. *elliottii*. Estes autores relataram que para N, P e Zn é necessário amostrar poucas árvores (2, 7 e 3, respectivamente) para detectar diferenças entre médias de 10%, enquanto que para K, Ca, Mg e Mn devem ser amostradas aproximadamente 20 árvores (26, 32, 18 e 27, respectivamente) para ser obtido a mesma precisão.

Segundo VAN DEN BURG (1976), na prática, um número de 8 a 10 árvores é considerado suficiente para uma regular estimativa dos teores de macronutrientes das folhas. Geralmente, utiliza-se um intervalo de confiança de 95%, com um erro em torno de 10%.

Para a avaliação dos micronutrientes, a situação é muito mais complicada do que para os macronutrientes. Na prática, a coleta de números muito elevados de árvores é inviável. Assim, uma menor precisão estatística (erro de 15 ou 20%) deveria ser adotada para Ca e micronutrientes, o que reduziria bastante o número de árvores a serem amostradas (VAN DEN BURG, 1976; MEAD, 1984).

2.2.7. Erros das estimativas dos teores de nutrientes

As técnicas de análise química para avaliação nutricional de povoamentos florestais, segundo LEAF (1973) e WEETMAN & WELLS (1990), têm dois objetivos: (1) quantificar a variação natural que ainda não foi eliminada pela seleção do

¹ WEHRMANN, J. Methodische Untersuchungen zur Durchführung von Nadel Analysen in Kiefernbeständen. (Investigations on methods of making needle analysis in Pine stands). *Forstwiss. Cbl.*, 78 (3/4): 77-9, 1959.

tecido para análise e (2) minimizar variações extrínsecas ou induzidas. As variações naturais estão associadas com características das espécies, como heterogeneidade genética, características individuais das plantas estágio de desenvolvimento das plantas, idade das árvores e fatores ambientais. Por outro lado, a variação induzida pode ocorrer devido à vários fatores: (1) condição do tecido vegetal amostrado, como: contaminação por poeira da superfície do tecido e danos aos tecidos por insetos ou doenças e (2) manuseio das amostras de tecido do campo até as preparações analíticas, como: condições de transporte, técnicas de secagem e moagem e técnicas de subamostragem. Como dentro da variação da amostra não se pode distinguir a parte associada a variação natural daquela induzida, estes autores recomendam muito cuidado em todas as etapas no campo e no laboratório para restringir as variações extrínsecas.

A maioria dos pesquisadores, frequentemente, tiram conclusões com base na amostragem de um pequeno número de árvores por parcela, sem possuir informações sobre a variação dos teores de nutrientes dentro da parcela. Sendo assim, TAMM (1964) sugeriu a utilização de amostras compostas de folhas com a finalidade de reduzir os erros de amostragem. Segundo este autor, quando houver necessidade de maior precisão, a amostragem de mais árvores seria melhor do que amostrar mais ramos de cada árvore, porque a variação dos teores de nutrientes entre árvores seria maior do que entre árvores.

No entanto, Slitcher¹ (1984), citado por WEETMAN & WELLS (1990), sugeriu que as variações dentro da árvore seriam maiores que entre árvores. Estes dados conflitantes, provavelmente, devem-se ao uso de procedimentos

¹ SLITCHER, T.K. Seasonal variation in nitrogen and phosphorus composition of plantation grown American sycamore foliage. Raleigh, 1984. (M.S. - North Carolina University)

diferentes de amostragem ou de diferenças inerentes aos povoamentos estudados. É importante ressaltar que, as variações dos teores de nutrientes entre árvores e dentro da árvore dependem de muitos fatores, como espécie, idade do povoamento, manejo e disponibilidade de nutrientes do solo. Deste modo, as conclusões devem ser cautelosas e específicas para as condições de estudo.

2.3. Amostragem para avaliação nutricional de povoamentos de espécies de *Pinus*

Para as coníferas, freqüentemente, têm sido utilizado os seguintes procedimentos de amostragem para avaliação nutricional: (a) coleta de acículas crescidas no ano vigente ("current year's growth"); (b) de porções finais de ramos de verticilos situados próximos ao topo até a metade superior da copa; (c) durante o outono ou inverno, preferencialmente entre os meses de setembro e dezembro (hemisfério norte) e (d) amostragem de 8 a 15 árvores dominantes e/ou co-dominantes por povoamento (WHITE, 1954; TAMM, 1955; WELLS & METZ, 1963; VELASCO & ALBAREDA, 1966; BAULE & FRICKER, 1970; LEAF, 1973; VAN DEN DRIESSE, 1974; Van den Burg¹, 1984, citado por WEETMAN & WELLS, 1990).

No entanto, alguns pesquisadores têm questionado se este esquema de amostragem é o mais sensível para detectar diferenças para os teores de todos os nutrientes entre sítios ou entre tratamentos de fertilização (WELLS & METZ, 1963; MILLER, 1966; LAVENDER, 1970; MEAD & PRITCHETT, 1974; MEAD & WILL, 1976).

Os teores de nutrientes tendem a ser mais estáveis no outono e inverno e assim, geralmente, estes têm sido escolhidos para amostragem nos locais com climas temperados e frios (LEAF, 1973; MEAD, 1984).

¹ VAN DEN BURG, J. Foliar analysis for determination of tree nutrient status: A compilation of literature data. Rap. Nr. 414. Rijkinstituut voor onderzoek in de bos-en landschapsbouw "De Dorschkamp", Wageningen, Netherlands, 1984.

Resultados discordantes foram encontrados por MILLER (1966) em plantações de *P. taeda* localizadas no Estado do Mississippi-EUA, sendo que os níveis dos nutrientes das acículas não ficaram estáveis no outono e inverno. MEAD & WILL (1976), verificaram que o fim do verão foi o período mais satisfatório para amostragem de *P. radiata* plantados na Nova Zelândia. Estes resultados encontrados para *P. taeda* (MILLER, 1966) e *P. radiata* (MEAD & WILL, 1976) discordam da tendência apresentada na literatura para outras espécies de *Pinus* e do trabalho de WELLS & METZ (1963) com *P. taeda*. Isto deve-se, provavelmente, à inexistência de um período dormente estável nos locais com clima subtropical e temperatura média do mês mais frio acima de 10°C, proporcionando o hábito indeterminado de crescimento de ambas espécies. Para o *P. taeda* tem sido observado a ocorrência de vários ciclos anuais de crescimento em altura (2, 3 ou até 4/ano), dependendo de condições ambientais favoráveis (MILLER, 1966).

Como a intensidade de amostragem necessária para detectar erros de 10 a 20% da média varia muito de nutriente para nutriente, a maioria dos estudos têm recomendado a amostragem de aproximadamente 20 árvores dominantes e co-dominantes de *Pinus* spp. (MEAD & PRITCHETT, 1974; MEAD & WILL, 1976; MEAD, 1984; WEETMANN & WELLS, 1990).

MEAD & PRITCHETT (1974), estudando o efeito da variação sazonal para os teores de nutrientes em *P. elliotii* var. *elliotii* na Flórida-EUA, observaram que a estação do ano mais favorável para avaliação de um nutriente pode não ser a mais adequada para todos os nutrientes. Deste modo, recomendaram a amostragem durante o verão para a determinação dos teores de N, P, Mg e Zn e durante o inverno para K, Ca e Mn. Estes autores sugeriram a amostragem de 20 árvores co-dominantes de *P. elliotii* var. *elliotii*, para um erro permitido de 10%. Porém, este mesmo estudo mostrou que há necessidade de amostrar um número maior de árvores para estimar a média dos teores de K, Ca e Mn. Na prática, estes

autores sugeriram que a amostragem seja feita durante o inverno, que foi o período recomendado para amostragem do P, pois este elemento foi considerado o mais deficiente no solo.

TRANI *et al.* (1983) e MALAVOLTA *et al.* (1989), através de revisão de literatura, recomendaram para o gênero *Pinus* a amostragem de acículas recém-maduras, primárias, dos ramos do último ano, durante o verão e também, para os últimos autores, no outono. De acordo com TRANI *et al.* (1983), deve-se coletar 10 acículas por árvore, num total de 30 árvores.

Nos estudos de avaliação nutricional de povoamentos de *P. taeda* e *P. elliottii* var. *elliottii*) conduzidos no Estado do Paraná (REISSMANN, 1981; REISSMAN & ZÖTTL, 1987; VALERI, 1988) têm havido uma tendência de adotar a metodologia de amostragem de ZÖTTL (1973), em que são amostradas acículas do segundo lançamento de ramos de exposição norte (de intensa exposição à luz) do segundo verticilo superior de árvores dominantes e co-dominantes, durante o inverno. No entanto, DOLDÁN (1987), estudando povoamentos de *P. taeda*, com idades variando entre 15 e 16 anos, na Região de Telêmaco Borba-PR, verificou que os teores de nutrientes (N, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Cu, Zn e B), exceto o P, das acículas do primeiro lançamento apresentaram maior correlação linear simples com o crescimento das árvores do que os teores das acículas do segundo lançamento, ambas de segundo verticilo. Os resultados obtidos por este autor sugerem o uso de acículas de primeiro lançamento para avaliar o estado nutricional do *P. taeda*, discordando do esquema sugerido por ZÖTTL (1973).

Embora a literatura sobre amostragem para avaliação nutricional seja muito vasta para o gênero *Pinus*, determinações dos teores de nutrientes e predição de respostas à fertilização usando análise foliar não têm sido bem sucedidas para o *P. taeda* e outras espécies em climas subtropicais e quentes, pois a maioria dos estudos restringem-se aos climas temperados e frios.

No Estado do Paraná, o *P. taeda* é a espécie do gênero *Pinus* mais plantada e mais recomendada, juntamente com o *P. elliottii* var. *elliottii*, sendo que a primeira espécie apresenta um incremento volumétrico superior, quando plantada nas Regiões Bioclimáticas 1, 2 e 3, localizadas respectivamente, no Centro-Sul, Zonas de transição e Oeste do Planalto de Guarapuava (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1986). Para o *P. taeda*, verifica-se a necessidade de maiores investigações sobre as variações dos teores de nutrientes dentro da árvore e entre árvores, em diferentes estações do ano, para desenvolver procedimentos de amostragem mais detalhados para esta espécie, já que a metodologia mais utilizada (ZÖTTL, 1973) não têm sido eficiente para todos os nutrientes em plantações situadas em regiões de clima subtropical.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Descrição geral da área estudada

3.1.1. Localização

Os talhões comerciais (016, 020A, 020B, 172, 173 e 183) de *P. taeda* L. , utilizados para este estudo, localizam-se na Guarda Florestal (GF) Trinita da Fazenda Monte Alegre, de propriedade da empresa Klabin Fabricadora de Papel e Celulose S.A. (KFPC), no Município de Telêmaco Borba, Estado do Paraná. A área abrangida pelos talhões estudados é de aproximadamente 60 ha.

A Fazenda Monte Alegre situa-se entre 24°02'02" e 24°27'48" de latitude sul e entre 50°17' e 50°55' de longitude oeste (Figura 1).

3.1.2. Relevo

O local de estudo pertence ao segundo planalto de Ponta Grossa, cujo relevo é suave ondulado constituído por sedimentos paleozóicos (MAACK, 1968). A altitude média da região é de 850 m e a altitude local é de aproximadamente 883 m.

3.1.3. Clima

De acordo com os dados coletados nos últimos 20 anos (1972-1993) na estação meteorológica da empresa KFPC localizada nas proximidades de Lagoa, o clima da região é do tipo Cfa da classificação de Köppen. é um clima subtropical úmido com chuvas em todas as estações do ano, podendo ocorrer seca no período de inverno, onde a temperatura média do mês mais frio é menor que 18°C e a temperatura do mês mais quente é superior a 22°C. As geadas são pouco freqüentes, ocorrendo principalmente nas zonas de baixada.

Figura 1. Mapa do Estado do Paraná, mostrando a localização da área estudada.

Entre 1972 e 1993, a pluviosidade média anual local foi de 1.475 mm. Os meses mais chuvosos foram dezembro e janeiro (com médias acima de 165 mm) e os mais secos foram julho e agosto (com média de 74 mm para o último), que coincidem com a estação de inverno. Entretanto, mesmo com diminuição dos totais pluviométricos durante o inverno, a pluviosidade distribuiu-se quase uniformemente ao longo do ano.

A temperatura média anual, nos últimos 20 anos, foi ao redor de 19°C. A temperatura média do mês mais quente (fevereiro) foi de 22,4°C, enquanto a do mês mais frio (junho) foi de 15,3°C.

3.1.4. Vegetação primitiva

A vegetação primitiva era representada por floresta subtropical perenifólia constituída por três estratos: o inferior possuindo ervas, arbustos e gramíneas; o médio, com *Podocarpus*, pimenteira, guaramirim, erva-mate, caroba, bracatinga, guariroba e o superior com araucária, imbuia, cedro, canela e outras espécies folhosas de grande porte (EMBRAPA & FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ, 1984).

3.2. Solos

De acordo com um levantamento feito pela empresa KFPC, duas unidades de solo predominam na área estudada: (1) LATOSSOLO VERMELHO-ESCURO álico com A moderado, textura argilosa a média-arenosa, fase campo, relevo plano a suave ondulado (denominado de LEa) - ocorrendo nos talhões 016, 020A, 020B, 172 e 173, e LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO álico com A moderado, textura média-arenosa, fase campo, relevo suave ondulado (denominado de LVa) - ocorrendo no talhão 183.

3.3. Povoamentos

Os seis talhões de *P. taeda* estudados (016, 020A, 020B, 172, 173 e 183), com idades de plantio entre 6 e 11 anos, foram selecionados com base nos inventários anuais

realizados pela empresa KFPC, por apresentarem baixas produtividades, pertencendo às classes de crescimento de sítio IV e V, segundo MACHADO (1978). A GF Trinita, onde situam-se os talhões amostrados, é uma das áreas mais problemáticas em termos nutricionais dentro da Fazenda Monte Alegre. No geral, os povoamentos de *Pinus* spp. da Trinita apresentam incrementos volumétricos inferiores àqueles de outras áreas dessa Fazenda.

Alguns aspectos silviculturais importantes para os seis talhões amostrados são apresentados na Tabela 1. Com relação ao regime de manejo de desbastes, o povoamento mais jovem de *P. taeda* com 6 anos de idade (talhões: 16, Q20A e Q20B) não sofreu esta intervenção, que geralmente ocorre na idade de 7 anos nesta empresa. Por outro lado, no povoamento de 11 anos de idade (talhões: 172, 173 e 183) esta prática ocorreu em 1988, onde realizou-se o 1º desbaste do tipo misto, seletivo e sistemático na 5ª linha. Na KFPC, o 2º desbaste geralmente, é feito em plantações com cerca de 10 anos de idade, mas essa prática pode variar de acordo com necessidades específicas e ocasionais da empresa. Em ambos povoamentos não foi feita aplicação de corretivos e fertilizantes.

A Tabela 2 apresenta os dados dendrométricos para os talhões amostrados, obtidos a partir do inventário realizado em fevereiro de 1992.

3.4. Caracterização dos solos dos povoamentos

Em fevereiro de 1992, foram feitas cinco tradagens dentro de parcelas permanentes (com aproximadamente 600 m²; Tabela 2) de cada um dos seis talhões amostrados, com a finalidade de caracterizar a fertilidade do solo e a granulometria. Em cada tradagem foram coletadas três amostras simples nas seguintes profundidades: 0-20, 20-40 e 40-60 cm, que após homogeneizadas por profundidade, constituíram três amostras compostas por parcela (ou talhão).

Tabela 1. Caracterização dos povoamentos de *P. taeda*.

Talhão	Plantio	Área	Espaçamento inicial	Desbaste	Uso anterior do solo
	mês/ano	ha	m x m	nº/ano	
016	1/1986	10,5	2,50 x 1,50	0	eucalipto
020A	2/1986	9,6	2,50 x 1,50	0	eucalipto
020B	2/1986	12,4	2,50 x 1,50	0	eucalipto
172	5/1981	13,6	2,50 x 1,70	1/1988	campo nativo
173	5/1981	7,3	2,50 x 1,70	1/1988	campo nativo
183	5/1981	5,9	2,50 x 1,70	1/1988	campo nativo

Tabela 2. Características dendrométricas dos povoamentos de *P. taeda*. Dados do inventário de fevereiro de 1992.

Talhão	Idade do povoamento	Área da parcela	DAP médio	H ^a	H dom ^b	Nº de árv/ha	Área basal
	anos	m ²	cm	-----	m -----		m ² /ha
016	6	565,0	12,4	11,1	12,9	2.602	34,6
020A	6	578,9	11,0	9,0	11,0	2.487	29,0
020B	6	576,6	11,6	8,3	9,7	2.862	32,5
172	11	662,0	18,3	15,4	16,3	1.148	31,4
173	11	657,9	17,6	14,7	16,3	1.231	31,2
183	11	607,2	20,5	17,6	19,3	1.136	39,4

^a Altura total média da parcela^b Altura média das árvores dominantes da parcela.

A análise química de solo constituiu-se nas determinações de: pH em CaCl_2 (0,01 M); matéria orgânica (C orgânico); P resina, K, Ca e Mg (extrator: resina de cátions e ânions); alumínio (extrator: KCl 1N) e micronutrientes - Cu, Mn, Zn (extrator: DTPA) e Fe, conforme métodos descritos por CATANI & JACINTHO (1974) e RAIJ & QUAGGIO (1983).

Os resultados das análises química e granulométrica das amostras de solo são apresentados nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Na Tabela 3 verifica-se que, com base na classificação desenvolvida para culturas agrícolas (RAIJ, 1991b), tanto o LEa como o LVa, possuem elevada acidez, teores médios de matéria orgânica, baixos a muito baixos teores de bases trocáveis (K, Ca e Mg) e P resina, saturação por bases (V) muito baixa, elevados níveis de Al trocável, altos a médios teores de cobre e teores médios a baixos de zinco.

A Tabela 4 revela que os solos dos talhões 016, 020A e 020B (povoamento com 6 anos de idade) são bastante homogêneos com relação à composição granulométrica, como indicam as texturas dos mesmos. Por outro lado, os solos dos talhões 172, 173 e 183 (povoamento com 11 anos de idade) possuem maior variabilidade textural.

3.5. Amostragem para avaliação nutricional dos povoamentos

3.5.1. Seleção das árvores

Com base nos dados do inventário realizado em fevereiro de 1992, as árvores de cada parcela permanente dos talhões selecionados foram distribuídas em oito classes de diâmetro, com intervalos de 2 cm para o povoamento com 6 anos de idade e de 2,5 cm para aquele com 11 anos.

Numa etapa seguinte, nas proximidades destas parcelas, foram selecionadas aleatoriamente duas árvores normais (não bifurcadas) em cada uma das oito classes de diâmetro. Deste modo, em todos os talhões estudados amostrou-se uma árvore em cada uma das classes de diâmetro, durante o

Tabela 3. Análise química de amostras de solos coletadas nos povoamentos de *Pinus taeda*.

Talhão	Solo	Prof	pH ^a	MO	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	SB ^b	CTC	Al ³⁺	V	Cu	Fe	Mn	Zn
			cm	% mg/dm ³			cmol/kg						%	mg/kg			
016	LEa	0-20	4,10	4,13	2,6	0,09	0,26	0,18	7,16	0,5	7,7	2,30	6,9	1,27	23,9	7,80	0,23
		20-40	4,10	3,65	1,8	0,05	0,08	0,11	7,16	0,2	7,4	2,10	3,2	1,19	25,7	4,12	0,26
		40-60	4,20	2,94	1,0	0,03	0,04	0,08	6,11	0,2	6,3	1,55	2,4	0,85	15,7	4,34	0,20
020A	LEa	0-20	4,05	4,44	2,8	0,09	0,06	0,02	7,55	0,2	7,7	2,35	2,2	0,90	34,0	1,60	0,16
		20-40	4,10	3,73	1,6	0,03	0,08	0,02	6,79	0,1	6,9	1,85	1,9	1,06	28,7	1,68	0,21
		40-60	4,10	3,25	1,0	0,05	0,06	0,02	6,11	0,1	6,2	1,50	2,1	0,99	21,4	2,94	0,20
020B	LEa	0-20	4,10	5,24	4,2	0,07	0,39	0,30	7,95	0,8	8,7	2,35	8,7	1,24	36,8	8,34	0,24
		20-40	4,10	4,68	1,6	0,06	0,06	0,09	7,16	0,2	7,4	2,25	2,9	1,39	29,6	4,24	0,18
		40-60	4,15	3,65	1,2	0,10	0,08	0,02	6,44	0,2	6,6	1,60	3,0	1,03	20,7	5,54	0,16
172	LEa	0-20	3,80	4,13	4,0	0,05	0,10	0,07	10,35	0,2	10,6	4,35	2,1	0,35	92,4	1,00	0,28
		20-40	3,95	3,02	2,0	0,05	0,06	0,05	8,39	0,2	8,6	3,30	1,9	0,43	74,8	0,78	0,19
		40-60	4,05	2,22	1,0	0,03	0,02	0,03	5,80	0,1	5,9	2,75	1,4	0,24	38,9	1,44	0,15
173	LEa	0-20	3,95	2,54	2,2	0,03	0,06	0,06	5,22	0,2	5,4	2,35	2,8	0,59	44,7	2,12	0,16
		20-40	4,05	2,06	1,2	0,03	0,02	0,04	4,46	0,1	4,6	1,90	2,0	0,50	31,4	1,16	0,22
		40-60	4,10	1,51	0,8	0,03	0,02	0,02	3,61	0,1	3,7	1,60	1,9	0,38	17,9	1,10	0,13
183	LVa	0-20	3,95	2,62	3,2	0,07	0,08	0,08	5,05	0,2	5,3	2,20	4,4	1,25	67,1	1,48	0,20
		20-40	4,00	2,38	2,0	0,05	0,06	0,08	3,81	0,2	4,0	1,95	4,8	1,18	35,7	6,72	0,21
		40-60	4,00	2,14	1,4	0,05	0,06	0,06	4,23	0,2	4,4	1,65	3,8	1,04	30,0	6,96	0,16

^a pH em CaCl₂.^b Soma de bases.

Tabela 4. Análise granulométrica^a de amostras de solos coletadas nos povoaamentos de *Pinus taeda*.

Talhão Solo	Prof	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte	Argila	Textura	
	cm	%						
016	LEa	0-20	4	38	42	10	48	argilosa
		20-40	6	29	35	10	55	
		40-60	4	27	31	11	58	
020A	LEa	0-20	4	40	44	7	49	argilosa
		20-40	4	37	41	6	53	
		40-60	3	34	37	7	56	
020B	LEa	0-20	5	34	39	10	51	argilosa
		20-40	4	30	34	9	57	
		40-60	4	27	31	9	60	
172	LEa	0-20	13	44	57	17	26	média-argilosa
		20-40	11	44	55	19	26	
		40-60	10	39	49	21	30	
173	LEa	0-20	22	50	72	6	22	média-arenosa
		20-40	26	48	74	4	22	
		40-60	20	44	64	8	28	
183	LVa	0-20	26	54	80	4	16	média-arenosa
		20-40	28	49	77	5	18	
		40-60	32	46	78	4	18	

^a Método do densímetro.

verão (fevereiro de 1972), enquanto que as outras oito árvores por parcela foram amostradas no inverno (julho de 1972). As árvores amostradas no povoamento com 6 anos de idade possuíam diâmetro médio de $12,3 \pm 4,4$ cm e altura média de $10,0 \pm 1,6$ m. No povoamento com 11 anos, o diâmetro médio e a altura média das árvores amostradas foram de $17,8 \pm 5,8$ cm e $15,6 \pm 1,5$ m, respectivamente.

3.5.2. Amostragem das acículas

A metodologia de amostragem utilizada baseia-se em COCHRAN & COX (1975) e COCHRAN (1977).

Em cada povoamento de *P. taeda*, no verão (2ª quinzena de fevereiro) e no inverno (2ª quinzena de julho), árvores selecionadas em todas as classes de diâmetro foram amostradas, coletando-se porções finais de ramos localizados em três posições da copa (superior, mediano e inferior). A amostragem no terço superior da copa iniciou-se a partir do 2º verticilo, pois pode ocorrer grandes variações dos teores de nutrientes nas acículas presentes nos ramos do 1º verticilo, devido aos altos níveis hormonais presentes nas brotações apicais (HOCKMAN *et al.*, 1989).

Os ramos, coletados em quatro pontos ortogonais da mesma posição da copa, foram colocados em sacos plásticos perfurados e identificados. Posteriormente, no laboratório, a partir destes ramos selecionou-se acículas de dois estágios fisiológicos (jovem e madura).

A determinação do estágio fisiológico da acícula foi feita com base na posição da mesma nos ramos curtos (ou pequenos). Foram denominadas de acículas jovens àquelas acículas dispostas na parte superior (terminal ou lateral) dos ramos, crescidas na mesma estação do ano que foi realizada a amostragem ou crescidas previamente, com 2 a 5 meses de idade, com comprimento superior à 5 cm (parcial ou totalmente expandidas). Por outro lado, as acículas maduras com aproximadamente 1 ano de idade, encontram-se na parte inferior dos ramos.

Para cada posição amostrada na copa, duas amostras compostas de acículas jovens e maduras (100 acículas/amostra) foram obtidas e colocadas em sacos de papel identificados. Assim, cada árvore abatida forneceu 6 amostras compostas de acículas, totalizando-se 48 amostras (8 árvores x 6 amostras) por talhão e por estação do ano.

A Figura 2 apresenta esquematicamente os locais de amostragem dentro da copa das árvores, mostrando as posições de coleta de acículas na copa e as posições das acículas nos ramos curtos.

3.6. Análise química das acículas

As amostras de acículas foram secas em estufa ($65 \pm 5^{\circ}\text{C}$), trituradas para passar em peneira de 1 mm. A matéria orgânica das acículas secas foi destruída, com a transferência dos nutrientes para soluções, nas quais estes foram determinados por análises químicas.

A determinação dos teores totais de macro (N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn) foi feita de acordo com a metodologia descrita por SARRUGE & HAAG (1974) e BATAGLIA *et al.* (1983).

3.7. Análise dos dados

3.7.1. Análise estatística

Os valores obtidos foram analisados através de estatísticas simples, análises de variância e teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, empregando-se procedimentos estatísticos do Sistema SAS (SAS, 1987).

Os dados referentes aos teores de nutrientes foram submetidos à teste de normalidade e de homogeneidade das variâncias. Como os dados não tinham distribuição normal, para normalizar e homogeneizar suas variâncias, os teores de N, K, Ca, B, Fe, Mn e Zn foram transformados em $\cdot \log(x)$; os referentes a P e S foram transformados em $\arcsin [RQ(x/100)]$ e os teores de Mg e Cu foram transformados em $RQ(x)$, onde RQ equivale a raiz quadrada.

Figura 2. Diagrama esquemático mostrando os locais de amostragem dentro da árvore: posição da copa e estágio fisiológico das acículas.

Foram feitas análises de variância para cada nutriente, testando-se três modelos fatoriais com estrutura hierárquica (COCHRAN & COX, 1975). Para avaliar a amostragem e estabelecer comparações entre idade do povoamento e estação do ano, o estágio fisiológico da acícula dentro da posição de amostragem na copa foi confundido com o resíduo (Quadros 1 e 2). Utilizou-se também um modelo para comparar todos os fatores estudados e algumas interações importantes (Quadro 3).

3.7.2. Número de árvores a serem amostradas

Os dados dos coeficiente de variação (CV) dos teores de nutrientes foram utilizados para estimar a intensidade de amostragem.

Para cada povoamento, foi calculado o número de árvores necessárias a serem amostradas (n) para estimar a média dos nutrientes. A fórmula utilizada foi a seguinte:

$$n = [(t^2 \times CV^2) / (E\%)^2]$$

onde: n é o número mínimo de árvores a serem amostradas por povoamento; t é o valor tabelado para uma probabilidade desejada e n-1 graus de liberdade, sendo neste estudo, igual a 1,96; CV é o coeficiente de variação dos teores de nutrientes e E% é o erro permitido em porcentagem.

No presente trabalho, admitiu-se valores de 5, 10, 15 e 20% de erro da média e um nível de 5% de probabilidade para o valor t. Geralmente, na área florestal o erro adotado é de aproximadamente 10%.

3.7.3. Critério para a escolha do local e intensidade de amostragem

Para a padronização de um método de amostragem visando à recomendação para avaliação nutricional de povoamentos de *P. taeda* foi elaborado uma seqüência de procedimentos, descritos a seguir.

Na primeira etapa, selecionou-se a estação do ano que apresentou os menores coeficientes de variação (CV) para cada um dos teores de nutrientes, nos diversos locais de amostragem. Os locais com os menores coeficientes de variação

mostram onde a variabilidade entre as árvores foi mínima e sendo assim, mais estável para cada nutriente.

Em seguida, dentro da estação do ano selecionada, verificou-se qual o estágio fisiológico da acícula que revelou as maiores variações (diferença entre valor máximo e mínimo) para os teores dos nutrientes dentro da copa da árvore.

Na terceira etapa, com o conhecimento do estágio fisiológico da acícula mais satisfatório para ser amostrado, determinou-se a melhor posição da copa para amostragem, através do valor mais baixo de CV.

Por último, a intensidade de amostragem foi encontrada tendo-se como base o valor do CV do local (estágio fisiológico da acícula e posição da copa) mais favorável para amostragem, considerando-se erros de amostragem de 5 a 20%.

Quadro 1. Esquema da análise de variância dos dados utilizado para avaliar a amostragem.

Causas de Variação	Grau de Liberdade
Parcela	2
Árvore (Parcela)	21
Posição (Árvore)	48
Resíduo	72
Total	143

Quadro 2. Esquema da análise de variância dos dados empregado para comparar o efeito da idade do povoamento e da estação do ano.

Causas de Variação	Grau de Liberdade
Idade do povoamento	1
Estação do Ano	1
Idade x Estação	1
Parcela (Idade x Estação)	8
Árvore (Parcela)	21
Posição (Árvore)	16
Resíduo	527
Total	575

Quadro 3. Esquema da análise de variância dos dados utilizado para comparações gerais entre os fatores estudados.

Causas de Variação	Grau de Liberdade
Idade do povoamento	1
Estação do Ano	1
Posição	2
Acícula	1
Parcela	2
Árvore	7
Idade x Estação	1
Idade x Posição	2
Idade x Acícula	1
Estação x Posição	2
Estação x Acícula	1
Posição x Acícula	2
Resíduo	527
Total	575

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Nitrogênio

Os fatores estudados que mais afetaram os teores de N das acículas, conforme os resultados da análise de variância comparativa (Quadro 3), foram: estação do ano ($F=237,57$; $P<0,01$), posição de amostragem na copa ($F=53,80$; $P<0,01$), idade do povoamento ($F=5,63$; $P<0,05$) e posição da árvore (classe de diâmetro) no povoamento ($F=4,76$; $P<0,01$). No entanto, não houve efeito significativo do estágio fisiológico da acícula a ser amostrada ($F=0,08$ ns).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados das variações dos teores de nitrogênio das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda*. Dos nutrientes estudados, o nitrogênio foi o que apresentou os parâmetros mais baixos de variação.

4.1.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de N das acículas variaram de 12,6 a 25,2 g/kg para o povoamento com 6 anos de idade e de 11,8 a 24,1 g/kg para aquele com 11 anos de idade.

Os teores médios de N foram significativamente ($DMS=0,3$) superiores para o povoamento mais jovem (17,6 g/kg) do que os teores do povoamento mais velho (17,2 g/kg). Entretanto, como essas diferenças são muito pequenas, na prática, considera-se estes valores semelhantes.

Estes resultados concordam com aqueles apresentados por VALERI (1988), sendo que os teores médios de N das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior foram mais altos no povoamento de *P. taeda* com 7 anos do que os teores dos povoamentos com 10 e 14 anos.

Tabela 5. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do nitrogênio (N) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de N				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
6	Verão ^c	Superior	Jovem	13,2	19,7	16,7	10,4	17	4	2	1
			Madura	14,3	21,8	17,2	10,5	17	4	2	1
		Mediana	Jovem	13,2	22,5	16,6	12,3	23	6	3	2
			Madura	13,2	18,2	15,9	10,1	16	4	2	1
		Inferior	Jovem	12,6	19,9	15,3	11,0	19	5	2	1
			Madura	13,0	18,8	15,4	10,0	16	4	2	1
	Inverno ^d	Superior	Jovem	17,2	23,8	20,5	8,8	12	3	2	1
			Madura	16,7	23,4	20,1	8,5	11	3	1	1
		Mediana	Jovem	16,0	23,8	19,2	9,9	15	4	2	1
			Madura	14,1	23,0	19,0	10,2	16	4	2	1
		Inferior	Jovem	14,3	21,6	17,9	11,1	19	5	2	1
			Madura	13,0	25,2	17,7	17,1	45	11	5	3
11	Verão	Superior	Jovem	13,3	24,1	17,0	12,7	25	6	3	2
			Madura	13,6	23,0	17,3	12,7	25	6	3	2
		Mediana	Jovem	14,0	18,9	15,8	7,9	10	3	1	1
			Madura	13,4	23,8	16,7	12,6	25	6	3	2
		Inferior	Jovem	12,7	17,9	15,2	9,1	13	3	1	1
			Madura	11,8	21,6	15,7	13,4	28	7	3	2
	Inverno	Superior	Jovem	15,3	23,0	19,0	10,6	17	4	2	1
			Madura	14,8	23,4	18,9	11,1	19	5	2	1
		Mediana	Jovem	14,4	23,2	19,0	12,4	24	6	3	2
			Madura	14,3	21,1	18,5	9,6	14	4	2	1
		Inferior	Jovem	14,0	20,9	17,3	10,6	17	4	2	1
			Madura	12,7	20,4	16,6	11,9	22	6	3	1

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

4.1.2. Efeito da estação do ano

Os teores médios de N das acículas foram significativamente ($DMS = 0,3$) mais altos no inverno (18,6 g/kg) do que no verão (16,2 g/kg).

Teores máximos de N durante o inverno estão de acordo com diversos trabalhos com coníferas (WELLS & METZ, 1963; MEAD & PRITCHETT, 1974; MEAD & WILL, 1976; MEAD, 1984; PAYN & CLOUGH, 1987). Por outro lado, WHITE (1954) e LEYTON (1958) observaram valores máximos de N no verão para *P. resinosa* e outras coníferas, respectivamente.

No verão, as árvores estão sob grande estresse nutricional, devido à diminuição dos teores de nutrientes. A razão para essa queda dos teores de nutrientes, provavelmente, relaciona-se com a redistribuição dos elementos mais móveis, como o N, das acículas maduras para as partes novas em crescimento. Segundo SANDS & MULLIGAN (1990), a ciclagem interna de nutrientes é primariamente governada pela taxa de crescimento das árvores. Conseqüentemente, teores mais baixos de N encontrados durante as estações de maior crescimento, provavelmente, devem-se ao efeito de diluição. Enquanto que, no inverno, o aumento dos teores de N pode ser explicado pelo menor crescimento das árvores, causando uma "concentração do nutriente".

4.1.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Houve diferença altamente significativa para os teores de N entre as árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, dos povoamentos de *P. taeda* estudados.

Com relação ao povoamento com 6 anos de idade, observou-se diferenças estatisticamente significantes para os teores de N das acículas entre as árvores, amostradas no inverno ($F = 1,96$; $P < 0,05$), mas no verão, não houve diferenças significativas ($F = 1,60$ ns).

Por outro lado, no povoamento com 11 anos de idade, houve diferenças significativas entre as árvores ($F = 2,56$; $P < 0,01$) somente no verão.

Houve interação altamente significativa entre idade do povoamento e estação do ano ($F = 9,22$; $P < 0,01$), devido às diferenças quanto ao comportamento sazonal do nitrogênio entre os povoamentos com 6 e 11 anos de idade.

Durante o verão, no povoamento com 6 anos de idade, observa-se um aumento das taxas de crescimento e redução nos teores de N (efeito de diluição), tornando-se menor a variabilidade existente entre as árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro. Por outro lado, no inverno, as variações dos teores de N entre as árvores aumentam devido ao menor crescimento neste período do ano. Estes resultados relacionam-se com o estágio inicial do desenvolvimento da floresta (do plantio até o fechamento das copas), no qual encontra-se o povoamento com 6 anos de idade, em que existe uma dependência muito grande do suprimento de nutrientes do solo (ATTIWILL, 1979; MILLER, 1981). No entanto, em períodos de maior crescimento, as quantidades de nutrientes fornecidas pelo solo são insuficientes para que os teores nas plantas sejam mantidos constantes e assim, verifica-se níveis mais baixos de nutrientes nas plantas.

Com o avanço da idade do povoamento (após o fechamento das copas), de acordo com JORGENSEN *et al.* (1975) e MILLER (1981), o crescimento das árvores depende mais da ciclagem interna de nutrientes do que do suprimento externo de nutrientes. Assim, as diferenças entre as árvores do povoamento com 11 anos revelam-se maiores durante o verão, onde ocorre um aumento da ciclagem interna de N, devido à alta mobilidade deste elemento na planta. No inverno, como existe menor crescimento e menor redistribuição de N, diminui a variabilidade existente entre árvores para este nutriente.

Para avaliação dos teores de N, pode-se amostrar árvores, selecionadas em qualquer classe de diâmetro, no verão, para o povoamento com 6 anos e para aquele com 11 anos, no inverno. Neste caso, qualquer árvore pode representar o estado nutricional do nitrogênio do povoamento, discordando

das afirmações de MADGWICK (1963), em que este autor sugeriu que nenhuma árvore média poderia representar o povoamento em termos nutricionais.

4.1.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Pela análise de variância (Quadro 3) e teste de Tukey, verificou-se teores médios de N significativamente ($DMS = 0,5$) mais altos na posição superior da copa (18,3 g/kg), intermediários no meio (17,6 g/kg) e menores na posição inferior da copa (16,4 g/kg). Teores de N aumentando da base para o topo da copa corresponde ao padrão de distribuição dos teores foliares na copa do tipo II, identificado por VAN DEN DRIESSCHE (1974). Estes resultados confirmam aqueles apresentados para *P. taeda* por SMITH et al. (1970). Por outro lado, WELLS & METZ (1963) verificaram que os teores de N aumentam do topo para a base da copa (tipo III) de árvores de *P. taeda*, com 5 anos de idade. Enquanto que, WILL (1957) não detectou nenhuma variação para os teores foliares de N entre as posições da copa (tipo I) de árvores de *P. radiata*.

Para o povoamento com 6 anos de idade, verificou-se teores de N estatisticamente diferentes entre as posições da copa de árvores amostradas tanto no verão ($F = 2,34$; $P < 0,01$) como no inverno ($F = 3,40$; $P < 0,01$). É importante destacar que, no inverno, aproximadamente 45% da variação total dos teores de N pode ser explicada pela variação existente entre as posições de amostragem na copa, enquanto que, no verão, este valor reduziu para 35%.

Observou-se que, no povoamento com 6 anos de idade, a variação dentro da árvore foi significativamente maior do que a variação entre árvores, amostradas no inverno e verão. Resultados semelhantes aqueles mostrados por Slitcher¹ (1984), citado por WEETMAN & WELLS (1990).

¹ SLITCHER, T.K. Seasonal variation in nitrogen and phosphorus composition of plantation grown American sycamore foliage. Raleigh, 1984. (M.S. - North Carolina University)

Para o povoamento com 11 anos, houve efeito significativo para os teores de N em função da posição de amostragem na copa, somente no inverno ($F = 1,63$; $P < 0,05$). Cerca de 21% da variação total deste nutriente pode ser explicada pela variação dentro da copa.

No inverno, a variação dos teores de N dentro da copa foi maior do que a variação entre árvores do povoamento com 11 anos, semelhante aos resultados obtidos para o povoamento mais jovem. Por outro lado, no verão, a variação entre árvores foi maior do que a variação dentro da árvore, concordando com TAMM (1964). Com base nestes resultados, observa-se que algumas vezes a variação dos teores de nutrientes entre as árvores é maior do que a variação dentro da árvore, mas em outras vezes, ocorre o contrário. Assim, generalizações devem ser evitadas para que não sejam tiradas conclusões errôneas.

4.1.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Não foram encontrados gradientes horizontais para N, pois não houve diferença significativa ($DMS = 0,3$) para os teores médios de N entre as acículas jovens (17,5 g/kg) e maduras (17,4) dos povoamentos amostrados. Como o N tem alta mobilidade na árvore, este redistribui-se dos tecidos mais velhos e fisiologicamente menos ativos, para as partes novas em crescimento. No entanto, verificou-se que a contribuição deste mecanismo foi pequena, provavelmente, porque os teores de N no solo foram suficientes para a manutenção de teores foliares de N relativamente estáveis. Por outro lado, WILL (1957) encontrou teores mais altos de N nas acículas mais jovens de *P. radiata*.

4.1.6. Recomendação de amostragem

Para os povoamentos de *P. taeda* com 6 e 11 anos de idade não houve uma estação do ano de maior estabilidade para os teores de N, pois a média dos coeficientes de variação, tanto no inverno como no verão, foi de aproximadamente 11% (Tabela 5).

Para o povoamento com 6 anos de idade, os procedimentos de amostragem recomendados para avaliação do N (Tabela 5) foram de coletar, durante o inverno, acículas maduras da posição superior da copa em 11 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de amostragem de 5% ou 3 árvores para 10% de erro.

Por outro lado, para o povoamento com 11 anos de idade, recomenda-se amostrar no inverno, acículas maduras da posição mediana ou superior da copa, em 4 ou 5 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 10%. É preciso esclarecer que, para o povoamento mais velho houve um local de amostragem onde o coeficiente de variação (7,9%) foi mais baixo do que aquele do local recomendado, mas neste caso, as acículas jovens não podem representar toda a variabilidade existente para os teores de nitrogênio.

Na prática, para a avaliação do estado nutricional do nitrogênio em povoamentos de *P. taeda* sugere-se a amostragem durante o inverno, coletando-se acículas maduras da posição superior ou mediana da copa, em aproximadamente 5 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro desejado de 10%.

Estes resultados confirmam o método de amostragem para avaliação nutricional de *Pinus* spp. apresentado por ZÖTTL (1973).

WHITE (1954) concluiu que o inverno foi a estação do ano melhor para avaliar o N, semelhante ao encontrado no presente trabalho. No entanto, MEAD & PRITCHETT (1974) recomendaram que a amostragem para o N em *P. elliottii* var. *elliottii* seja feita no verão.

O emprego de folhas maduras para a avaliação do nitrogênio, bem como para outros elementos móveis, foi também sugerido por BOULD (1983) e MARSCHNER (1986). DOLDÁN (1987), entretanto, constatou que os teores de N das acículas do

1º lançamento mostraram maior correlação com o crescimento de *P. taeda*, com 15 a 16 anos de idade, do que os teores das acículas do 2º lançamento, ambas do 2º verticilo superior.

4.1.7. Avaliação do estado nutricional

Para ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981), os teores de N das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior apresentados como sendo níveis bons, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, variam entre 15 e 22 g/kg e entre 18 e 23 g/kg, respectivamente. De acordo com ZÖTTL (1973), teores de N inferiores a 12 g/kg são considerados deficientes para *Pinus*.

Os resultados dos teores médios de N das acículas maduras do topo da copa, no inverno, correspondente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), encontrados para os povoamentos de *P. taeda* com 6 (20 g/kg) e 11 anos (19 g/kg) são considerados bons para este mesmo autor.

Quanto aos locais recomendados para avaliação nutricional do N no presente trabalho, observou-se que os níveis das acículas maduras do topo ou meio da copa, coletadas durante o inverno, foram superiores a 18 g/kg, considerados adequados para o crescimento normal das árvores por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981). Sintomas visuais de deficiência de N não foram constatados.

Os teores normais de N das acículas podem ser relacionados aos teores médios de matéria orgânica do solo (Tabela 3), de acordo com a classificação para fins agrícolas de RAIJ (1991b). WELLS & METZ (1963) encontraram correlação altamente significativa entre teor de N do solo e de acículas de *P. taeda*, com 5 anos de idade.

De modo geral, os resultados encontrados por DOLDÁN (1987), REISSMANN & ZÖTTL (1987) e VALERI (1988) para povoamentos de *P. taeda* na Região de Telêmaco Borba-PR, são semelhantes aos do presente trabalho.

REISSMANN & ZÖTTL (1987), estudando povoamento de *P. taeda*, com 15 anos de idade, constataram sintomas de deficiência de N. Os teores de N das acículas do 2º verticilo superior para povoamento sem sintomas visuais de deficiência, medianamente e fortemente afetados pela deficiência foram de 27,7, 18,2 e 14,7 g/kg, respectivamente.

4.2. FÓSFORO

Os fatores que mais afetaram os teores de P, com base na análise de variância (Quadro 3), foram: idade do povoamento ($F=115,70$; $P<0,01$), estágio fisiológico da acícula ($F=76,29$; $P<0,01$), posição de amostragem na copa ($F=69,94$; $P<0,01$), estação do ano ($F=24,67$; $P<0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F=4,74$; $P<0,01$).

Os resultados dos teores de fósforo das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos, são apresentados na Tabela 6.

4.2.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de P das acículas variaram de 0,7 a 1,9 g/kg e de 0,5 a 1,7 g/kg, respectivamente, nos povoamentos de *P. taeda* com 6 e 11 anos de idade.

Teores médios de P foram estatisticamente diferentes (DMS= 0,03) entre o povoamento com 6 (1,20 g/kg) e 11 anos de idade (1,06 g/kg). Essa pequena diferença foi significativa devido aos baixos coeficientes de variação, mas na prática, estes valores são muito próximos, sendo considerados equivalentes.

O aumento dos teores de P com a idade das árvores foi também verificado por VALERI (1988). Este autor encontrou teores médios de P das acículas do 2º verticilo superior das árvores com 7, 10 e 14 anos, respectivamente, de 1,10, 1,20 e 1,17 g/kg.

Tabela 6. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do fósforo (P) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de P				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
6	Verão ^c	Superior	Jovem	1,1	1,7	1,4	14,0	30	8	3	2
			Madura	1,0	1,5	1,2	12,2	23	6	3	2
		Mediana	Jovem	0,8	1,9	1,2	18,6	53	13	6	3
			Madura	0,7	1,2	1,0	14,5	32	8	4	2
		Inferior	Jovem	0,8	1,6	1,1	18,8	54	14	6	4
			Madura	0,7	1,1	0,9	10,6	17	4	2	1
		Inverno ^d	Jovem	1,0	1,5	1,3	9,0	13	3	2	1
			Madura	1,1	1,6	1,3	9,6	14	4	2	1
		Mediana	Jovem	1,0	1,5	1,3	8,7	12	3	1	1
			Madura	1,0	1,6	1,3	10,8	18	5	2	1
		Inferior	Jovem	0,9	1,7	1,2	15,3	36	9	4	2
			Madura	0,9	1,7	1,2	15,2	36	9	4	2
	Verão	Superior	Jovem	0,9	1,7	1,3	13,8	29	7	3	2
			Madura	0,8	1,3	1,1	12,2	23	6	3	2
		Mediana	Jovem	0,8	1,4	1,1	13,9	30	8	3	2
			Madura	0,7	1,2	0,9	11,8	22	5	2	1
		Inferior	Jovem	0,8	1,7	1,1	17,4	47	12	5	3
			Madura	0,7	1,6	0,9	19,7	60	15	7	4
	Inverno	Superior	Jovem	0,9	1,4	1,2	11,8	22	5	2	1
			Madura	0,7	1,4	1,1	15,3	36	9	4	2
		Mediana	Jovem	0,5	1,3	1,1	16,1	40	10	5	3
			Madura	0,7	1,2	1,0	14,7	33	8	4	2
		Inferior	Jovem	0,6	1,3	1,0	15,0	35	9	4	2
			Madura	0,6	1,2	1,0	17,3	46	12	5	3

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro a diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

4.2.2. Efeito da estação do ano

Valores significativamente ($DMS = 0,03$) mais altos ocorreram no inverno ($1,16 \text{ g/kg}$) e menores no verão ($1,10 \text{ g/kg}$). Entretanto na prática, essa diferença não deve ser considerada. Este resultado, provavelmente, relaciona-se com o maior crescimento no verão, causando uma diminuição dos teores de P (efeito de diluição), enquanto que no inverno, o aumento dos teores deve-se ao menor crescimento (efeito de concentração).

Vários trabalhos com coníferas têm constatado teores máximos de N no inverno (WELLS & METZ, 1963; MEAD & PRITCHETT, 1974; VAN DEN DRIESCHE, 1974; MEAD & WILL, 1976; MEAD, 1984; PAYN & CLOUGH, 1987).

4.2.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Verificou-se efeito altamente significativo para os teores de P entre as árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, com 6 e 11 anos de idade.

No povoamento com 6 anos de idade, ocorreram diferenças significativas para os teores de P entre as árvores, no inverno ($F = 2,88$; $P < 0,01$), mas não houve diferenças no verão ($F = 1,06$ ns). Estes resultados indicam que, no verão, pode-se amostrar árvores em qualquer classe de diâmetro para a avaliação nutricional do P neste povoamento.

Para o povoamento com 11 anos, foram encontradas diferenças significativas entre árvores, tanto no verão ($F = 2,55$; $P < 0,01$) como no inverno ($F = 1,93$; $P < 0,05$).

Houve efeito altamente significativo ($F = 8,63$; $P < 0,01$) para a interação entre idade do povoamento e estação do ano. Estes resultados podem ser explicados pela mudança no comportamento do P, em função das variações que ocorrem devido ao efeito sazonal e do estágio de desenvolvimento da floresta.

No povoamento com 6 anos de idade, durante o verão, ocorreu uma elevação das taxas de crescimento e uma diminuição dos teores de P das acículas. Isto deve-se, provavelmente, à teores de P no solo insuficientes para a

manutenção dos teores foliares de P constantes nas árvores (efeito de diluição). Sabe-se que, no estágio inicial do desenvolvimento da floresta existe uma alta dependência dos teores de nutrientes do solo (ATTIWILL, 1979; MILLER, 1981). Assim, neste período de maior crescimento, diminuem as variações dos teores de P entre as árvores. Por outro lado, no inverno, essas diferenças aumentam devido ao menor crescimento das árvores (efeito de concentração).

No povoamento com 11 anos de idade, em que predomina a ciclagem interna de nutrientes sobre o fornecimento de nutrientes pelo solo (JORGENSEN *et al.*, 1975; MILLER, 1981), as diferenças dos teores de P entre as árvores devem estar mais fortemente associadas com capacidades distintas de redistribuição de P, tanto no verão como no inverno. Isto significa que, árvores que acumularam maiores quantidades de P podem ter uma redistribuição mais eficiente, proporcionando um maior crescimento, do que àquelas árvores que acumularam quantidades menores ou insuficientes deste nutriente.

4.2.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Houve diferença estatisticamente significativa (DMS= 0,37) para os teores médios de P entre as posições de amostragem na copa, com valores mais altos na posição superior da copa (1,24 g/kg), intermediários no meio (1,10 g/kg) e menores na posição inferior da copa (1,06 g/kg). Teores foliares de P aumentando da base para o topo da copa corresponde ao padrão de distribuição de nutrientes do tipo II, identificado por VAN DEN DRIESCHE (1974). Resultado semelhante foi apresentado em *P. taeda* por WELLS & METZ (1963). No entanto, WILL (1957) verificou teores de fósforo em *P. radiata* aumentando no sentido contrário, isto é, do topo para a base da copa (tipo III).

No povoamento de *P. taeda* com 6 anos de idade, diferenças estatisticamente significantes para os teores de P das acículas ocorreram entre as posições de amostragem na copa, tanto no inverno ($F= 1,99$; $P<0,01$) como no verão ($F= 1,88$; $P<0,01$). Cerca de 25% da variação total dos teores de P pode ser explicada pela variação dentro da árvore.

Verificou-se ainda que, no inverno, a variação entre árvores com 6 anos ($F= 2,88$; $P<0,01$) foi significativamente maior do que a variação dentro da árvore. Por outro lado, no verão, a variação dentro da árvore foi maior do que a variação entre árvores. Estes resultados, provavelmente, relacionam-se com o estágio de desenvolvimento da floresta e a mobilidade sazonal do nutriente.

Para o povoamento com 11 anos de idade não houve diferença estatisticamente significativa para os teores de P entre as posições de amostragem na copa, no verão ($F= 1,10$ ns) e no inverno ($F= 1,35$ ns). Assim, a variação entre árvores, amostradas no verão e inverno, foi maior do que a variação dentro da árvore. Resultados semelhantes foram encontrados por TAMM (1964).

4.2.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Foram identificados gradientes horizontais para os teores médios de P, detectados através de diferenças significativas ($DMS= 0,03$) entre as acículas jovens ($1,19$ g/kg) e maduras ($1,08$ g/kg). A redução nos teores de P com o aumento da idade das acículas deve-se, principalmente, ao aumento relativo na produção de matéria seca (MARSCHNER, 1986), aliado à alta mobilidade do P. O P redistribui-se dos tecidos mais velhos e fisiologicamente menos ativos, para as regiões novas em crescimento, principalmente, quando os teores disponíveis no solo são relativamente baixos, provocando uma "diluição do nutriente". No entanto, WILL (1957) encontrou teores de P aumentando com o aumento da idade da acícula em *P. radiata*.

Interação altamente significativa foi observada entre estágio fisiológico da acícula e estação do ano. Este resultado relaciona-se com a capacidade de redistribuição do P e taxas de crescimento das árvores, em função da estação do ano.

4.2.6. Recomendação de amostragem

A amostragem para avaliação nutricional de P (Tabela 6), para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos de idade, deve ser feita durante o inverno, coletando-se acículas jovens da posição mediana, em 12 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 5% e para um erro de 10% somente 3 árvores.

No povoamento com 11 anos de idade, não houve diferença significativa entre as estações do ano com relação a variabilidade dos teores do P. Assim, pode-se amostrar tanto no verão como no inverno. No verão, pode-se coletar acículas maduras do meio da copa e no inverno, acículas jovens do topo da copa. Em ambas situações, o tamanho da amostra deve ser de 22 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 5% e 5 árvores para um erro de 10%.

Na prática, para avaliação dos teores de P sugere-se amostrar no inverno, acículas jovens da posição superior da copa, em cerca de 5 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 10%.

Por outro lado, MEAD & PRITCHETT (1974) constataram que o verão foi a melhor estação do ano para avaliar o fósforo em *P. elliotii* var. *elliotii*.

WELLS & METZ (1963) verificaram que as acículas jovens evidenciaram melhor as variações dos teores de P em árvores de *P. taeda*, com 5 anos de idade, semelhante aos resultados do presente trabalho. Resultados discordantes foram observados por DOLDÁN (1987), sendo que os teores de P das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo apresentaram maior correlação com o crescimento das árvores de *P.*

taeda, com idades entre 15 e 16 anos, do que àqueles das acículas do 1º lançamento do 2º verticilo superior. BOULD (1983) e MARSCHNER (1986) também sugeriram a utilização de folhas maduras para a avaliação nutricional de elementos móveis.

4.2.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de P das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, os teores compreendidos entre 1,3 e 2,0 g/kg e entre 1,3 e 1,4 g/kg, respectivamente. ZÖTTL (1973) considera deficientes os teores de P inferiores a 0,9 g/kg.

Os teores médios de P das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), encontrados para os povoamentos com 6 (1,3 g/kg) e 11 anos (1,1 g/kg) podem ser considerados adequados e com tendência à deficiência, respectivamente, por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981).

Para os locais de amostragem sugeridos no presente trabalho, os teores médios de P das acículas para o povoamento com 6 (acículas jovens do meio da copa, no inverno) e 11 anos de idade (acículas jovens do topo da copa, no inverno) foram de 1,3 e 1,1 g/kg, iguais aos teores dos locais equivalentes ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973). Sendo assim, pode estar ocorrendo uma deficiência latente, já que não foi detectado sintomas visíveis de deficiência de P para o povoamento com 11 anos de idade, confirmados pelos baixos teores de P (P resina), apresentados na Tabela 3. Resultados concordantes foram apresentados por WELLS & METZ (1963), que encontraram alta correlação entre teor de P do solo e de acículas de *P. taeda*, com 5 anos de idade.

Trabalhos com *P. taeda* realizados por DOLDÁN (1987) e VALERI (1988), nesta mesma Região (Telêmaco Borba-PR), observaram teores de P das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior similares aos do presente trabalho.

REISSMANN & ZÖTTL (1987) constataram sintomas de deficiência de P num povoamento de *P. taeda*, com 15 anos de idade, na Região de Telêmaco Borba-PR. Povoamentos sem sintomas visuais de deficiência, medianamente e fortemente afetados pela deficiência apresentaram teores médios de P das acículas do 2º verticilo superior de 0,8, 0,7 e 0,6 g/kg, respectivamente.

4.3. POTÁSSIO

Os teores de K das acículas foram influenciados, principalmente, pelos seguintes fatores, como indicam os resultados da análise de variância (Quadro 3): estação do ano ($F = 17,72$; $P < 0,01$), estágio fisiológico da acícula ($F = 58,62$; $P < 0,01$), posição de amostragem na copa ($F = 28,11$; $P < 0,01$), idade do povoamento ($F = 11,79$; $P < 0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F = 6,47$; $P < 0,01$).

Os resultados das variações dos teores de potássio das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda* são apresentados na Tabela 7.

4.3.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de K variaram de 1,3 a 10,5 g/kg no povoamento com 6 anos e de 1,5 a 11,2 g/kg naquele com 11 anos.

Os teores médios de K foram significativamente ($DMS = 0,2$) superiores para o povoamento com 11 anos (4,4 g/kg) do que os teores do povoamento com 6 anos (4,1 g/kg), devido aos baixos coeficientes de variação, mas estas diferenças não são consideradas na prática.

Resultados semelhantes foram apresentados por VALERI (1988), encontrando teores médios de K nas acículas do 2º verticilo superior semelhantes entre árvores de *P. taeda* com 7 e 10 anos de idade.

Tabela 7. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do potássio (K) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de K				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
6	Verão ^c	Superior	Jovem	3,1	10,5	6,2	30,3	141	35	16	9
			Madura	2,8	9,9	4,9	34,3	181	45	20	11
		Mediana	Jovem	2,8	7,1	4,4	25,6	101	25	11	6
			Madura	1,3	5,1	3,6	28,3	123	31	14	8
		Inferior	Jovem	2,0	6,9	4,2	32,8	165	41	19	10
			Madura	1,8	6,1	3,8	32,9	166	42	19	11
	Inverno ^d	Superior	Jovem	2,8	5,6	3,8	19,8	60	15	7	4
			Madura	2,3	6,1	3,9	24,6	93	23	10	6
		Mediana	Jovem	2,6	5,1	3,4	21,3	70	18	8	5
			Madura	2,0	5,9	3,6	24,1	89	22	10	6
		Inferior	Jovem	1,8	7,4	3,6	41,0	258	65	29	16
			Madura	1,8	6,9	3,8	31,1	149	37	17	9
11	Verão	Superior	Jovem	2,3	11,2	6,8	31,4	152	38	17	10
			Madura	2,8	7,9	4,8	27,3	115	29	13	7
		Mediana	Jovem	3,1	7,4	5,3	21,2	74	19	8	5
			Madura	1,5	5,4	3,4	28,0	121	30	13	8
		Inferior	Jovem	3,1	9,9	6,0	27,3	115	29	13	7
			Madura	2,0	5,9	3,8	28,4	124	31	14	8
	Inverno	Superior	Jovem	2,3	4,8	4,0	18,0	50	13	6	3
			Madura	1,8	4,8	3,6	21,8	73	18	8	5
		Mediana	Jovem	1,5	6,1	3,8	26,4	107	27	12	7
			Madura	2,3	5,6	3,7	22,8	80	20	9	5
		Inferior	Jovem	1,8	6,1	3,9	23,3	84	21	9	5
			Madura	2,0	5,6	3,7	23,7	86	22	10	5

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

4.3.2. Efeito da estação do ano

Valores médios significativamente ($DMS = 0,2$) mais altos ocorreram no verão ($4,8 \text{ g/kg}$) e reduziram no inverno ($3,7 \text{ g/kg}$).

BAULE & FRICKER (1970) e SANDS & MULLIGAN (1990) fizeram observações similares sobre os teores de K da folhagem e afirmaram que essa queda ocorrida no inverno relaciona-se com as condições ambientais. Ainda, segundo estes autores, as necessidades de K pelas árvores são supridas, principalmente, pela solução do solo, que é dependente do teor de água do solo. No inverno, geralmente, o teor de água do solo é mais baixo do que nas outras estações e assim, ocorre a diminuição das taxas de absorção de potássio.

Por outro lado, diversos trabalhos com coníferas verificaram concentrações mínimas de K durante o verão (WELLS & METZ, 1963; MILLER, 1966; MEAD & PRITCHETT, 1974; VAN DEN DRIESCHE, 1974; MEAD & WILL, 1976; MEAD, 1984; PAYN & CLOUGH, 1987; HOCKMAN *et al.*, 1989).

4.3.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Diferenças estatisticamente significantes para os teores de K ocorreram entre as árvores amostradas nos povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos de idade.

Para o povoamento com 6 anos de idade, os teores médios de K não diferiram significativamente entre as árvores amostradas, tanto no verão ($F = 0,42 \text{ ns}$) como no inverno ($F = 1,74 \text{ ns}$). Isto significa que, para representar a variabilidade nutricional do K, pode-se amostrar árvore de qualquer classe de diâmetro dentro deste povoamento. Estes resultados, provavelmente, devem estar associados com os baixos teores de K do solo (Tabela 3), pois no primeiro estágio de desenvolvimento da floresta, as árvores dependem fundamentalmente dos nutrientes do solo para seu crescimento (ATTIWILL, 1979; MILLER, 1981).

Por outro lado, para o povoamento de 11 anos encontrou-se diferenças significativas entre as árvores, tanto no verão ($F = 1,80$; $P < 0,05$) como no inverno ($F = 6,99$; $P < 0,01$). Neste segundo estágio do desenvolvimento da floresta, ocorre uma intensa ciclagem bioquímica e uma baixa dependência dos teores de nutrientes do solo (ATTIWILL, 1979; MILLER, 1981). Deste modo, árvores que, provavelmente, acumularam maiores quantidades de K podem redistribuí-lo mais eficientemente do que aquelas que acumularam pequenas quantidades deste elemento. Assim, as variações entre as árvores foram menores no verão, devido ao efeito de diluição, e maiores no inverno, pelo efeito de concentração.

4.3.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Diferenças estatisticamente significantes ($DMS = 0,3$) para os teores médios de K das acículas ocorreram entre as posições de amostragem da copa, com valores mais altos na posição superior da copa (4,7 g/kg) e menores nas posições inferior (4,1 g/kg) e mediana da copa (3,9 g/kg), não sendo significativa as diferenças entre as duas últimas. Este padrão de distribuição de K nas acículas da copa não foi identificado por VAN DEN DRIESSCHE (1974).

WILL (1957) encontrou teores de K aumentando do topo para a base da copa (tipo III) de árvores de *P. radiata*. WELLS & METZ (1963), estudando a distribuição de nutrientes das acículas de *P. taeda*, verificou que os teores de K aumentam da base para a copa (tipo II). MADGWICK (1964) observou teores de K diminuindo do topo e da base para o meio da copa (tipo V) em árvores de *P. resinosa*.

Para o povoamento com 6 anos de idade encontrou-se diferenças estatisticamente significantes entre as posições da copa das árvores, amostradas durante o verão ($F = 2,57$; $P < 0,01$) e inverno ($F = 2,97$; $P < 0,01$). Aproximadamente 25% da variação total do K pode ser explicada pela variação dentro da árvore.

Verificou-se ainda que, no povoamento com 6 anos de idade a variação dentro da árvore foi significativamente maior do que a variação entre árvores, no inverno ($F = 1,74$ ns) e verão ($F = 0,42$ ns). Resultados semelhantes foram encontrados por Slitcher¹ (1984), citado por WEETMAN & WELLS (1990).

Por outro lado, para o povoamento com 11 anos de idade não houve efeito significativo para os teores de K entre as posições de amostragem na copa para as árvores, no verão ($F = 0,80$ ns) e no inverno ($F = 1,35$ ns).

Para o povoamento mais velho, a variação entre árvores para os teores de K foi significativamente maior, tanto no inverno ($F = 6,99$; $P < 0,01$) como no verão ($F = 1,80$; $P < 0,05$), do que a variação dentro da árvore. Estes resultados concordam com aqueles relatados por TAMM (1964).

4.3.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Gradientes horizontais estatisticamente significantes ($DMS = 0,2$) para os teores médios de K ocorreram, sendo os valores das acículas jovens ($4,6$ g/kg) superiores do que das acículas maduras ($3,9$ g/kg). Esta diminuição dos teores de K com a idade da acícula relaciona-se, provavelmente, com aumento de produção de matéria seca e a alta mobilidade do K, que redistribui-se dos tecidos mais velhos para as partes novas em crescimento, causando uma "diluição do nutriente".

Este resultado confirma a tendência de redução do teor de K com o aumento da idade da folha relatada por SMITH (1962). No entanto, WILL (1957) não encontrou variação nos teores de K em função do estágio fisiológico da acícula em *P. radiata*.

¹ SLITCHER, T.K. Seasonal variation in nitrogen and phosphorus composition of plantation grown American sycamore foliage. Raleigh, 1984. (M.S. - North Carolina University)

Interações altamente significativas ocorreram entre estágio fisiológico da acícula e idade do povoamento ($F=16,55$; $P<0,01$) e entre estágio fisiológico da acícula e estação do ano ($F=52,97$; $P<0,01$), relacionadas com a redistribuição do K e taxa de crescimento das árvores.

4.3.6. Recomendação de amostragem

Para os povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos de idade, a amostragem para avaliação nutricional do potássio deve ser feita durante o inverno, coletando-se acículas jovens da posição superior da copa. Para um erro desejado de 10%, é necessário amostrar 15 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, no povoamento com 6 anos e 13 árvores no povoamento com 11 anos. Na prática, sugere-se a amostragem de aproximadamente 15 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 10%.

MEAD & PRITCHETT (1974) recomendaram que a amostragem para avaliação do K em *P. elliottii* var. *elliottii* seja feita entre o outono e o inverno, onde foram detectadas as menores variabilidades destes teores entre as árvores.

Para amostragem do K em *P. taeda*, WELLS & METZ (1963) também recomendaram a amostragem de acículas jovens do ano vigente, porque estas foram mais sensíveis em detectar mudanças nos teores deste nutriente do que as acículas maduras. Resultados similares foram obtidos por DOLDÁN (1987), que observou que os teores de K das acículas do 1º lançamento do 2º verticilo superior das árvores de *P. taeda*, com 15 a 16 anos de idade, mostraram maior correlação do que os teores das acículas do 2º lançamento, também do 2º verticilo. Por outro lado, BOULD (1983) e MARSCHNER (1986) sugeriram a utilização de folhas maduras para avaliação do potássio.

Como pode-se observar, a intensidade de amostragem para a avaliação nutricional do potássio foi de 3 vezes superior do que àquela para nitrogênio e fósforo.

4.3.7. Avaliação do estado nutricional

Sintomas de deficiência de K, similares àqueles apresentados por BAULE & FRICKER (1970) e MALAVOLTA (1980), foram verificados no povoamento de *P. taeda* com 11 anos de idade, durante o verão (talhão 172) e inverno (talhões 173 e 183), sendo mais marcante na última estação. As pontas das acículas mais velhas possuíam cores amareladas (sintoma inicial desta deficiência), cuja descoloração deve-se ao desaparecimento da clorofila. Segundo BAULE & FRICKER (1970), essas acículas caem mais rápido e o crescimento das árvores com estes sintomas é fortemente restringido, com morte de ramos inteiros até a morte lenta da árvore inteira.

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de K das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, teores variando de 6,0 a 12,0 g/kg e 7,0 a 11,0 g/kg, respectivamente. Segundo ZÖTTL (1973) considera-se deficientes teores de K inferiores a 4,0 g/kg. Valores abaixo de 3,0 g/kg, de acordo com ZÖTTL (1966), indicam deficiência forte de potássio.

Os resultados dos teores médios de K das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), para os povoamentos de *P. taeda* com 6 (3,9 g/kg) e 11 anos (3,6 g/kg) são considerados deficientes por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981).

Para os locais de amostragem recomendados neste trabalho, isto é, acículas jovens da posição superior da copa, no inverno, verifica-se valores entre 3,8 e 4,0 g/kg, confirmando a deficiência de K para ambos povoamentos. Isto pode ser confirmado pelos baixos teores de K⁺ trocável no solo (Tabela 3), conforme a classificação para solos com uso agrícola de RAIJ (1991b). Estes resultados concordam com aqueles apresentados por WALKER (1955) e WELLS & METZ (1963),

que constatarem alta correlação entre teor de K^+ trocável do solo e de acículas de *P. strobus* e *P. taeda*, respectivamente.

Resultados semelhantes para os teores de K das acículas foram observados por DOLDÁN (1987). Por outro lado, REISSMANN & ZÖTTL (1987) e VALERI (1988) encontraram valores, respectivamente, mais baixos e mais altos do que aqueles obtidos no presente trabalho.

REISSMANN & ZÖTTL (1987) constatarem sintomas de deficiência de K em povoamento de *P. taeda*, com 15 anos de idade, na Região de Telêmaco Borba-PR. Os teores médios de K das acículas do 2º verticilo superior para povoamentos sem sintomas visuais de deficiência, medianamente e fortemente afetados pela deficiência, foram de 2,6, 2,2 e 1,5 g/kg, respectivamente.

VALERI (1988), analisando povoamentos de *P. taeda*, encontrou teores médios de K das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior das árvores com 7, 10 e 14 anos, respectivamente, de 5,69, 5,64 e 3,90 g/kg. No entanto, nas acículas vivas das árvores, os teores foram de 5,17, 4,51 e 3,35 g/kg. Os dois primeiros povoamentos apresentam idades semelhantes aos do presente trabalho, mas têm um padrão superior de crescimento.

Com base nos resultados do presente trabalho, juntamente com aqueles de VALERI (1988) e REISSMANN & ZÖTTL (1987), constata-se que o problema da deficiência de potássio em acículas de povoamentos de *P. taeda*, com idades entre 6 a 15 anos, é ampla e fortemente distribuído na Região de Telêmaco Borba-PR, e como consequência, tem afetado o crescimento das árvores, principalmente em altura.

4.4. CÁLCIO

Os fatores que mais afetaram os teores de cálcio das acículas, com base nos resultados da análise de variância (Quadro 3), foram: idade do povoamento ($F=114,40$; $P<0,01$), posição de amostragem na copa ($F=54,06$; $P<0,01$),

estação do ano ($F = 47,43$; $P < 0,01$), estágio fisiológico da acícula ($F = 18,42$; $P < 0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F = 2,49$; $P < 0,05$).

Os resultados das variações dos teores de cálcio das acículas e a intensidade de amostragem para povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos de idade, são apresentados na Tabela 8.

4.4.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de Ca das acículas variaram de 0,6 a 1,3 g/kg para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos e de 0,3 a 1,0 g/kg para aquele com 11 anos.

Os teores médios de Ca foram significativamente ($DMS = 0,2$) superiores para o povoamento com 6 anos (2,4 g/kg) do que os teores do povoamento com 11 anos (1,7 g/kg).

VALERI (1988) encontrou teores médios de Ca relativamente estáveis, tanto das acículas do 2º verticilo superior com das acículas vivas, para povoamentos de *P. taeda*, com idades entre 7 e 14 anos.

4.4.2. Efeito da estação do ano

Valores significativamente ($DMS = 0,2$) mais altos de Ca ocorreram no verão (2,3 g/kg) e menores no inverno (1,7 g/kg). Valores máximos de Ca no verão concordam com WELLS & METZ (1963), MEAD (1984) e PAYN & CLOUGH (1987). Isto possivelmente, relaciona-se com a baixa mobilidade deste elemento, que é pouco redistribuído no início da estação de crescimento e assim, é acumulado.

4.4.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Diferenças estatisticamente significantes para os teores de Ca ocorreram entre as árvores amostradas durante o inverno para os povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos ($F = 3,85$; $P < 0,01$ e $F = 2,89$; $P < 0,01$, respectivamente), mas não houve diferenças entre as árvores amostradas no verão.

Como o Ca tem baixa mobilidade nas árvores, a redistribuição deste é muito pequena, tanto no povoamento jovem como no maduro. Assim, a floresta nestes estágios de

Tabela 8. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do cálcio (Ca) em povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de Ca				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
6	Verão ^c	Superior	Jovem	0,7	3,3	1,7	38,0	222	56	25	14
			Madura	0,6	11,7	1,8	120,5	2231	558	278	140
		Mediana	Jovem	1,0	5,9	2,3	51,0	400	100	45	25
			Madura	1,1	9,1	3,5	45,0	311	78	35	20
		Inferior	Jovem	0,9	6,1	2,7	44,5	304	76	34	19
			Madura	0,9	9,4	4,4	38,4	227	57	25	14
	Inverno ^d	Superior	Jovem	0,9	4,4	2,0	42,6	279	70	31	18
			Madura	0,8	2,8	1,7	36,0	199	50	22	13
		Mediana	Jovem	0,8	3,1	2,0	31,0	148	37	17	9
			Madura	0,9	3,2	2,0	26,7	110	28	12	7
		Inferior	Jovem	1,0	3,5	2,0	32,4	161	40	18	10
			Madura	1,3	5,9	2,7	39,3	237	59	27	15
11	Verão	Superior	Jovem	0,5	3,7	1,5	61,3	578	145	64	36
			Madura	0,5	4,0	1,6	65,4	657	164	73	41
		Mediana	Jovem	0,7	4,1	1,6	46,5	332	83	37	21
			Madura	0,8	4,4	2,4	41,8	269	67	30	17
		Inferior	Jovem	0,9	3,0	1,8	31,1	149	37	17	9
			Madura	1,0	6,3	2,6	45,3	315	79	35	20
	Inverno	Superior	Jovem	0,3	3,7	1,2	69,5	742	186	83	46
			Madura	0,3	2,6	1,1	60,9	570	143	63	36
		Mediana	Jovem	0,3	3,7	1,4	63,3	616	154	69	39
			Madura	0,4	3,9	1,4	66,6	682	170	76	43
		Inferior	Jovem	0,5	4,5	1,6	59,7	548	137	61	34
			Madura	0,6	6,2	1,9	62,1	593	148	66	37

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

desenvolvimento depende quase que exclusivamente do Ca presente no solo. Portanto, as árvores exigem um fornecimento constante de Ca do solo e no caso de uma diminuição dosuprimento não haveria mobilização suficiente para auxiliar os órgãos mais novos (MALAVOLTA, 1980). No inverno, o crescimento das árvores é pequeno, deste modo, pode-se detectar diferenças entre árvores de diferentes classes de diâmetro para os teores foliares de Ca em função das quantidades de Ca que estas já acumularam. Por outro lado, devido ao maior crescimento das árvores no verão, ocorre diluição dos teores de Ca das acículas, reduzindo as diferenças entre as árvores.

4.4.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Valores médios significativamente (DMS= 0,25) mais altos de Ca ocorreram na posição inferior da copa (2,5 g/kg), intermediários no meio (2,1 g/kg) e menores na posição superior da copa (1,6 g/kg). Este padrão de distribuição de Ca das acículas na copa, onde os teores aumentam do topo para a base da copa, corresponde ao tipo III identificado por VAN DEN DRIESCHE (1974). Resultados semelhantes foram apresentados para *P. taeda* por WELLS & METZ (1963) e para *P. radiata* por WILL (1957).

Diferenças estatisticamente significantes ocorreram para os teores médios de Ca entre as posições da copa de árvores, tanto no verão como no inverno, dos povoamentos de *P. taeda* com 6 e 11 anos de idade. Cerca de 20% da variação total de Ca das acículas pode ser explicada devido à posição de amostragem na copa.

No verão, para os povoamentos com 6 e 11 anos de idade, e para o último no inverno, constatou-se que a variação para os teores de Ca dentro da árvore foi maior do que a variação entre árvores. Por outro lado, no inverno, para o povoamento com 6 anos ocorreu o contrário. Deste modo, não é possível tirar conclusões sobre a grandeza destas variações para os teores de Ca das acículas.

4.4.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Diferenças estatisticamente significantes (DMS= 0,2) para os teores médios de Ca ocorreram entre as acículas jovens (1,8 g/kg) e maduras (2,3 g/kg), com maiores valores para as acículas mais velhas. A elevação dos teores de Ca com a idade das acículas pode ser explicada, principalmente, pelo aumento relativo na produção de material estrutural na matéria seca e de compostos de reserva (MARSCHNER, 1986) e pela baixa mobilidade deste elemento na planta, provocando uma "concentração deste nutriente".

Resultados semelhantes foram encontrados em vários trabalhos com coníferas (WILL, 1957; SMITH, 1962; WELLS & METZ, 1963; MADGWICK, 1964; MEAD & PRITCHETT, 1974; VAN DEN DRIESCHE, 1974; MEAD, 1984).

Interações altamente significativas ocorreram entre estágio fisiológico da acícula e estação do ano ($F= 8,54$; $P<0,01$) e entre estágio fisiológico da acícula e posição de amostragem na copa ($F= 9,85$; $P<0,01$). Estes resultados relacionam-se com a baixa capacidade de redistribuição do Ca e taxa de crescimento das árvores.

4.4.6. Recomendação de amostragem

Como mostra a Tabela 8, para avaliação nutricional do Ca em árvores de *P. taeda* com 6 anos de idade recomenda-se amostrar durante o inverno, pois esta foi a estação mais estável, embora os coeficientes de variação tenham sido relativamente altos comparado aos elementos já apresentados. Deve-se coletar acículas maduras da posição mediana da copa, em 28 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 10% e para um erro de 15% seriam 12 árvores.

Para o povoamento com 11 anos de idade, sugere-se amostrar, acículas maduras do meio da copa, durante o verão, em 30 árvores. selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 15% e 17 árvores para 20% de erro.

Na prática, recomenda-se a amostragem para avaliação nutricional do Ca, durante o verão, de acículas maduras do posição mediana da copa, em cerca de 78 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de 10% ou de 35 árvores para 15% de erro.

MEAD & PRITCHETT (1974) recomendaram a amostragem para avaliação do estado nutricional do cálcio em *P. elliotii* var. *elliotii* durante períodos de dormência, entre o outono e inverno.

WELLS & MEYER (1963) também encontrou que as acículas mais velhas (com 1 ano de idade) foram indicadores mais sensíveis do estado nutricional do cálcio em árvores de *P. taeda*, com 5 anos de idade. Por outro lado, BOULD (1983) e MARSCHNER (1986) sugeriram a utilização de folhas jovens para analisar os teores de Ca na planta.

4.4.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de Ca das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, os teores compreendidos entre 1,0 e 5,0 g/kg e entre 0,8 e 3,0 g/kg, respectivamente. Segundo ZÖTTL (1973), valores de Ca inferiores a 0,5 g/kg são considerados deficientes para *Pinus*.

Os teores médios de Ca das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), encontrados para os povoamentos com 6 (1,7 g/kg) e 11 anos (1,1 g/kg) podem ser considerados bons por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981).

Para os locais de amostragem sugeridos no presente trabalho, verificou-se teores médios de Ca das acículas de 2,0 e 2,4 g/kg, respectivamente, para povoamentos com 6 (acículas maduras do meio da copa, no inverno) e de 11 anos de idade (acículas maduras do meio da copa, no verão), também considerados bons pelos mesmos autores. Sintomas

visuais de deficiência de Ca não foram observados nos povoamentos estudados de *P. taeda*.

Resultados similares para os teores de Ca das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior em povoamentos de *P. taeda*, na mesma Região do presente estudo (Telêmaco Borba-PR), foram apresentados por DOLDÁN (1987), REISSMANN & ZÖTTL (1987) e VALERI (1988).

É preciso salientar que, a classificação agrícola utilizada para interpretar os teores de Ca no solo (RAIJ, 1991b) não foi adequada para os povoamentos de *P. taeda*, pois os teores foliares de Ca foram considerados bons, enquanto que os teores do solo foram interpretados como sendo baixos a muito baixos (Tabela 3). Segundo LUTZ & CHANDLER (1947), o *P. taeda* é considerado uma espécie calcífuga, devido às baixas exigências para este nutriente. WELLS & METZ (1963) observou correlação altamente significativa entre teor de Ca do solo e de acículas de *P. taeda*, com 5 anos de idade.

4.5. MAGNÉSIO

Os teores de Mg das acículas foram influenciados, principalmente, pelos seguintes fatores, como indicam os resultados da análise de variância: idade do povoamento ($F = 239,64$; $P < 0,01$), estágio fisiológico da acícula ($F = 27,12$; $P < 0,01$), posição de amostragem na copa ($F = 9,25$; $P < 0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F = 3,65$; $P < 0,01$). Por outro lado, não houve diferenças para o Mg entre estações do ano ($F = 1,28$ ns).

Os resultados das variações dos teores de magnésio das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda* são apresentados na Tabela 9.

4.5.1. Efeito da idade do povoamento

Para o povoamento com 6 anos de idade os teores de Mg variaram de 0,4 a 2,1 g/kg, enquanto que, no povoamento com 11 anos, os teores foram de 0,1 a 3,3 g/kg.

Tabela 9. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do magnésio (Mg) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de Mg				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
				-----	g/kg	-----	-----	% -----			
6	Verão ^c	Superior	Jovem	0,8	1,8	1,1	22,0	75	19	8	5
			Madura	0,5	2,0	0,9	35,2	191	48	21	12
		Mediana	Jovem	0,7	1,6	1,0	22,5	78	20	9	5
			Madura	0,6	2,0	0,9	32,0	157	39	18	10
		Inferior	Jovem	0,7	1,6	1,1	22,4	77	19	9	5
			Madura	0,6	2,1	1,1	28,9	128	32	14	8
	Inverno ^d	Superior	Jovem	0,7	1,9	1,2	22,4	77	19	9	5
			Madura	0,7	1,4	1,0	19,9	61	15	7	4
		Mediana	Jovem	0,6	1,5	1,0	20,9	67	17	8	4
			Madura	0,6	1,4	1,0	20,7	66	17	7	4
		Inferior	Jovem	0,4	2,1	1,1	28,3	123	31	14	8
			Madura	0,6	1,9	1,1	31,0	148	37	17	9
11	Verão	Superior	Jovem	0,4	1,3	0,7	34,5	183	46	20	12
			Madura	0,2	1,1	0,6	37,8	220	55	24	14
		Mediana	Jovem	0,4	1,1	0,8	24,9	133	33	15	8
			Madura	0,3	1,0	0,6	36,0	199	50	22	13
		Inferior	Jovem	0,3	1,4	0,8	35,2	190	48	21	12
			Madura	0,3	1,5	0,7	42,8	282	70	31	18
	Inverno	Superior	Jovem	0,4	1,4	0,8	35,0	188	47	21	12
			Madura	0,3	1,1	0,6	38,6	229	57	26	14
		Mediana	Jovem	0,1	1,4	0,7	46,0	325	81	36	20
			Madura	0,3	1,3	0,6	41,4	263	66	29	17
		Inferior	Jovem	0,3	3,3	0,9	62,4	598	150	67	37
			Madura	0,3	1,6	0,7	46,5	332	83	37	21

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

Os teores médios de Mg das acículas foram significativamente (DMS= 0,05) superiores para as árvores com 6 anos (1,0 g/kg) do que os teores das árvores com 11 anos (0,7 g/kg).

Resultados concordantes foram observados por VALERI (1988), que encontrou teores médios de Mg das acículas do 2º verticilo superior das árvores com 7, 10 e 14 anos de 0,89, 0,79 e 0,87 g/kg, respectivamente.

4.5.2. Efeito da estação do ano

Não houve diferenças significativas para os teores médios de Mg entre as estações do ano. No verão e inverno, estes valores foram de aproximadamente 0,9 g/kg. No entanto, WELLS & METZ (1963) verificaram que os teores foliares de Mg em *P. taeda* aumentam no verão. Para *P. elliotii* var. *elliotii*, MEAD & PRITCHETT (1974) encontraram teores máximos de Mg no inverno e mínimos no verão. A diminuição do Mg relaciona-se, provavelmente, com a redistribuição deste nutriente dos tecidos mais velhos para as partes mais novas, principalmente durante o verão, devido ao maior crescimento nesta estação.

4.5.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Os teores médios de Mg diferiram significativamente entre as árvores de diferentes classes de diâmetro de ambos povoamentos amostrados.

Para os povoamentos com 6 e 11 anos de idade, os níveis de Mg entre árvores foram estatisticamente diferentes, tanto no verão ($F= 5,54$; $P<0,01$ e $F= 2,82$; $P<0,01$, respectivamente) como no inverno ($F= 4,90$; $P<0,01$ e $F= 2,38$; $P<0,01$, respectivamente). As variações entre árvores podem explicar entre 42% e 15% das variações totais de Mg, respectivamente, para os povoamentos com 6 e 11 anos, durante o verão e inverno. Estes resultados devem-se à capacidades distintas de absorção do Mg entre as árvores mais jovens, enquanto que naquelas mais velhas, estas diferenças relacionam-se com quantidades acumuladas e redistribuídas de

Mg. Neste caso, árvores com maior conteúdo de Mg podem redistribuí-lo mais eficientemente do que àquelas com menor conteúdo deste nutriente.

4.5.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Os teores médios de Mg foram significativamente (DMS= 0,07) mais altos na posição inferior da copa (0,93 g/kg) e igualmente menores nas posições superior (0,85 g/kg) e mediana da copa (0,82 g/kg). Entretanto, na prática, estas diferenças não devem ser consideradas. Este padrão de distribuição de Mg das acículas na copa não foi identificado por VAN DEN DRIESCHE (1974).

Resultados discordantes foram apresentados por WELLS & METZ (1963) e WILL (1957). WELLS & METZ (1963) verificou que os teores de Mg aumentaram do topo para a base da copa (tipo III) de árvores de *P. taeda*, com 5 anos de idade. WILL (1957) não encontrou variações entre as posições da copa para o Mg das acículas (tipo I) de *P. radiata*.

Diferenças estatisticamente significantes para os teores de Mg das acículas ocorreram entre as posições da copa de árvores com 6 e 11 anos de idade, amostradas durante o inverno ($F = 2,36$; $P < 0,01$ e $F = 1,58$; $P < 0,05$, respectivamente). Entretanto, no verão, não houve diferença significativa para ambos povoamentos.

Para os povoamentos com 6 e 11 anos de idade, constatou-se que a variação para os teores de Mg entre árvores foi maior do que a variação dentro das árvores.

4.5.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Gradientes horizontais estatisticamente significantes (DMS= 0,05) foram encontrados para Mg, sendo que os teores médios das acículas jovens (0,92 g/kg) foram superiores àquelas das acículas maduras (0,81 g/kg). A redução dos teores de Mg com a idade da acícula relaciona-se, principalmente, com o aumento da produção de matéria seca (MARSCHNER, 1986) e a alta mobilidade deste elemento, que redistribui-se dos tecidos mais velhos para as partes novas em

crescimento, causando "diluição do nutriente". Estes resultados confirmam àqueles relatados por LEYTON (1948) e WILL (1957).

4.5.6. Recomendação de amostragem

Para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos de idade, a amostragem para avaliação nutricional do Mg deve ser feita durante o inverno, coletando-se acículas jovens da posição mediana da copa. Para um erro desejado de 10% (Tabela 9) seriam necessárias amostrar 17 árvores e para um erro de 15% seriam 8 árvores.

Para o povoamento com 11 anos de idade, pode-se amostrar, no verão, acículas jovens no meio da copa, em 33 árvores para um erro de 10% e 15 árvores para 15% de erro.

Na prática, para a avaliação nutricional do Mg recomenda-se amostrar, durante o verão, acículas jovens do meio da copa, em aproximadamente 33 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro desejado de 10% e de 15 para 15% de erro.

Para avaliação do Mg em *P. elliotii* var. *elliotii*, MEAD & PRITCHETT (1974) recomendaram o verão para amostragem das acículas.

DOLDÁN (1987) verificou que os teores de Mg das acículas do 1º lançamento apresentaram maior correlação com o crescimento das árvores de *P. taeda*, com 15 a 16 anos, do que os teores das acículas do 2º lançamento, ambas do 2º verticilo superior. Por outro lado, WELLS & METZ (1963) sugeriram a amostragem das acículas mais velhas (com 1 ano de idade) em árvores de *P. taeda*, com 5 anos de idade. BOULD (1983) e MARSCHNER (1986) também sugeriram a utilização de folhas maduras para a avaliação do magnésio.

4.5.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de Mg das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, os teores compreendidos entre 1,0

e 2,0 g/kg e entre 0,8 e 1,5 g/kg, respectivamente. Segundo ZÖTTL (1973), valores de Mg inferiores a 0,5 g/kg são considerados deficientes para *Pinus*.

Para o local equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), os teores médios de Mg das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, encontrados para os povoamentos com 6 (1,0 g/kg) e 11 anos (0,6 g/kg) podem ser considerados bons por este mesmo autor.

Com relação ao local de amostragem sugerido no presente trabalho, isto é, acículas jovens da posição mediana da copa, no inverno ou verão, os valores encontrados para os povoamentos com 6 (1,0 g/kg) e de 11 anos de idade (0,8 g/kg), também são considerados bons por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981). Sintomas visuais de deficiência de Mg foram observados nos povoamentos de *P. taeda*, especialmente naquele mais velho. De acordo com ZÖTTL (1966), teores de Mg abaixo de 0,2 g/kg indicam uma forte deficiência.

Resultados similares para os teores de Mg das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior em povoamentos de *P. taeda*, com idades variando entre 7 e 16 anos, em Telêmaco Borba-PR, foram apresentados por DOLDÁN (1987), REISSMANN & ZÖTTL (1987) e VALERI (1988).

No entanto, os resultados das análises das acículas não puderam ser confirmados pelos teores de Mg^{++} trocável do solo (Tabela 3), porque estes foram interpretados como sendo baixos a muito baixos (RAIJ, 1991b). Isto indica que, a classificação empregada para solos com uso agrícola não foi adequada para solos plantados com *P. taeda*, provavelmente, devido à baixa exigência de Mg por esta espécie. WELLS & METZ (1963) encontrou alta correlação entre teor de Mg do solo e de acículas de *P. taeda*.

4.6. ENXOFRE

Os fatores que mais afetaram os teores de S das acículas, com base nos resultados da análise de variância, foram: estação do ano ($F = 108,55$; $P < 0,01$), idade do povoamento

($F= 17,64$; $P<0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F= 2,55$; $P<0,01$). Não houve efeito estatisticamente significativo da posição de amostragem na copa ($F= 0,55$ ns) e estágio fisiológico da acícula ($F= 0,01$ ns).

Os resultados das variações dos teores de enxofre das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda* são apresentados na Tabela 10.

4.6.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de S das acículas variaram de 0,1 a 2,5 g/kg no povoamento de *P. taeda* com 6 anos e de 0,2 a 2,7 g/kg naquele com 11 anos. Os teores médios de S foram significativamente (DMS= 0,07) superiores para o povoamento com 6 anos (1,3 g/kg) do que os teores do povoamento com 11 anos (1,1 g/kg).

4.6.2. Efeito da estação do ano

Os teores médios de S das acículas foram significativamente (DMS= 0,07) mais altos no verão (1,4 g/kg) do que os teores no inverno (1,0 g/kg). Teores máximos de S no verão, possivelmente, devido à baixa mobilidade deste elemento. Como o S é pouco redistribuído no início da estação de crescimento, este acumula-se no verão.

4.6.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Os teores de S variaram significativamente entre as árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, com 6 e 11 anos de idade.

Foram detectadas diferenças estatisticamente significantes para os teores médios de S entre árvores do povoamento com 6 anos de idade, amostradas durante o verão ($F= 2,16$; $P<0,05$) e o inverno ($F= 3,53$; $P<0,01$) e entre as árvores do povoamento com 11 anos, durante o verão ($F= 3,23$; $P<0,01$). No entanto, árvore de qualquer classe de diâmetro pode ser amostrada no povoamento com 11 anos de idade, durante o inverno, pois não houve diferenças significativas ($F= 1,63$ ns) para os teores de S entre as árvores.

Tabela 10. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do enxofre (S) em povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de S				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
				-----	g/kg	-----	-----	% -----			
6	Verão ^c	Superior	Jovem	0,9	2,1	1,5	20,0	62	16	7	4
			Madura	1,1	2,2	1,5	18,6	53	13	6	3
		Mediana	Jovem	0,8	1,9	1,5	17,0	45	11	5	3
			Madura	1,0	1,8	1,4	15,4	37	9	4	2
		Inferior	Jovem	1,0	2,3	1,5	25,3	98	25	11	6
			Madura	0,9	2,3	1,5	18,1	50	13	6	3
	Inverno ^d	Superior	Jovem	0,1	2,0	0,9	45,6	320	80	36	20
			Madura	0,5	1,8	1,0	37,3	214	54	24	14
		Mediana	Jovem	0,5	1,9	1,1	39,8	244	61	27	15
			Madura	0,6	2,0	1,1	34,3	181	45	20	11
		Inferior	Jovem	0,4	2,1	1,1	44,7	307	77	34	19
			Madura	0,7	2,5	1,2	43,0	284	71	32	18
11	Verão	Superior	Jovem	0,5	2,3	1,4	39,5	240	60	27	15
			Madura	0,4	2,7	1,1	48,5	361	90	40	23
		Mediana	Jovem	0,2	2,7	1,3	50,5	392	98	44	25
			Madura	0,2	2,2	1,4	41,9	270	68	30	17
		Inferior	Jovem	0,4	2,7	1,4	41,0	258	65	29	16
			Madura	0,2	2,7	1,2	50,5	392	98	44	25
	Inverno	Superior	Jovem	0,4	1,9	1,0	33,4	172	43	19	11
			Madura	0,7	1,7	1,0	27,6	117	29	13	7
		Mediana	Jovem	0,6	2,1	1,0	34,4	182	46	20	11
			Madura	0,2	1,9	0,9	40,1	247	62	28	16
		Inferior	Jovem	0,3	1,4	0,9	26,8	110	28	12	7
			Madura	0,4	1,8	0,9	30,6	144	36	16	9

^a Estágio da acícula.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

Estes resultados relacionam-se com as mudanças do comportamento nutricional que ocorrem em função do aumento da idade das árvores. Após o fechamento das copas, as árvores passam a depender quase que exclusivamente da redistribuição dos nutrientes acumulados na copa para as partes novas em crescimento (ATTIWILL, 1979; MILLER, 1981). No caso do povoamento mais velho, no inverno, o crescimento é reduzido, causando uma "concentração de S", diminuindo as variações dos teores de S entre as árvores.

4.6.4 Efeito da posição de amostragem na copa

Os teores médios de S das acículas não diferiram significativamente entre as posições de amostragem da copa, sendo de aproximadamente 1,2g/kg. Este padrão de distribuição de S, onde os teores foliares mantêm-se constantes dentro da copa, foi considerado como sendo do tipo I identificado por VAN DEN DRIESCHE (1974).

Para o povoamento de *P. taeda* com 11 anos de idade, ocorreram diferenças significativas para os teores de S entre as posições da copa de árvores amostradas no verão ($F=1,92$; $P<0,01$) e no inverno ($F=1,94$; $P<0,01$). Por outro lado, não houve diferenças estatísticas para este nutriente no povoamento com 6 anos, tanto no verão ($F=1,03$ ns) como no inverno ($F=0,88$ ns).

A variação para os teores foliares de S dentro da árvore foi significativamente menor do que a variação entre árvores com 6 anos, no verão ($F=2,16$; $P<0,05$) e inverno ($F=3,53$; $P<0,01$) e de árvores com 11 anos, no verão ($F=3,23$; $P<0,01$). Resultados semelhantes àqueles encontrados por TAMM (1964).

Por outro lado, para o povoamento mais velho no inverno ocorreu o contrário, isto é, a variação dentro da árvore foi maior do que a variação entre árvores,

semelhantemente aos resultados obtidos por Slitcher¹ (1984), citado por WEETMAN & WELLS (1990).

4.6.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Não houve variações significativas para os teores médios de S entre acículas jovens (1,2 g/kg) e maduras (1,2 g/kg). Isto deve-se, provavelmente, à uma redistribuição do tecido mais velhos para os novos, como um mecanismo de "economia de nutrientes" (MILLER, 1981).

4.6.6. Recomendação de amostragem

Para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos de idade, a amostragem para avaliação nutricional do enxofre (Tabela 10) deve ser feita no verão, coletando-se acículas maduras do meio da copa. Para um erro desejado de 5%, seriam necessárias amostrar 37 árvores e para um erro de 10% seriam 9 árvores.

Para o povoamento com 11 anos (Tabela 10), recomenda-se a amostragem no inverno, coletando-se acículas jovens da posição inferior da copa, em 28 árvores para 10% de erro ou 12 árvores para 15%. Também, pode-se coletar acículas maduras da posição superior da copa, em 29 árvores para 10% de erro ou 13 árvores para 15%.

Na prática, sugere-se a amostragem para avaliação nutricional do enxofre em *P. taeda* durante o inverno, coletando-se acículas maduras da posição superior da copa, em aproximadamente 54 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de amostragem de 10% ou 24 árvores para 15% de erro.

Estes resultados discordam de BOULD (1983) e MARSCHNER (1986), que sugerem a utilização de folhas jovens para elementos de baixa mobilidade na planta, como é o caso do enxofre.

¹ SLITCHER, T.K. Seasonal variation in nitrogen and phosphorus composition of plantation grown American sycamore foliage. Raleigh, 1984. (M.S. - North Carolina University)

4.6.7. Avaliação do estado nutricional

Como ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981), que foram utilizados como referência na interpretação dos dados da análise das acículas não determinam o S, foi necessário adotar os valores descritos por MALAVOLTA *et al.* (1989) para a avaliação nutricional deste elemento. Entretanto, o sistema de amostragem utilizado por este último autor diverge daquele sistema dos autores citados primeiramente.

MALAVOLTA *et al.* (1989) apresentam como sendo teores adequados de S das acículas recém-maduras, amostradas no verão ou outono, para *Pinus*, valores entre 1,4 e 1,6 g/kg.

Com relação ao local de amostragem sugerido no presente trabalho, isto é, acículas maduras do terço superior da copa, durante o inverno, os valores encontrados para os povoamentos com 6 (1,0 g/kg) e 11 anos (1,0 g/kg), são considerados deficientes por MALAVOLTA *et al.* (1989). Entretanto, no povoamento com 6 anos, no verão, encontrou-se teores médios de S variando de 1,4 a 1,5 g/kg, considerados adequados por MALAVOLTA *et al.* (1989). Sintomas visíveis de deficiência de enxofre não foram constatados nos povoamentos de *P. taeda* amostrados.

4.7. BORO

Os teores de boro das acículas foram afetados, principalmente, com base nos resultados da análise de variância (Quadro 3), pelos seguintes fatores: idade do povoamento ($F = 74,48$; $P < 0,01$), estágio fisiológico da acícula ($F = 21,73$; $P < 0,01$), posição de amostragem na copa ($F = 11,65$; $P < 0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F = 11,34$; $P < 0,01$). Por outro lado, não houve diferenças para o B entre as estações do ano ($F = 0,12$ ns).

Os resultados das variações dos teores de B das acículas e a intensidade de amostragem para povoamentos de *P. taeda* com 6 e 11 anos de idade, são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do boro (B) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de B				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
				-----	mg/kg	-----	-----	% -----			
6	Verão ^c	Superior	Jovem	15	44	26,4	27,2	114	29	13	7
			Madura	12	36	19,0	36,3	202	50	23	13
		Mediana	Jovem	14	34	20,7	23,0	81	20	9	5
			Madura	12	31	18,7	24,1	89	22	10	6
		Inferior	Jovem	19	58	27,0	31,8	156	39	17	10
			Madura	13	32	22,9	18,6	53	13	6	3
	Inverno ^d	Superior	Jovem	16	61	29,6	38,0	222	56	25	14
			Madura	18	39	25,8	24,3	91	23	10	6
		Mediana	Jovem	17	43	25,9	28,1	121	30	14	8
			Madura	13	38	23,5	25,3	99	25	11	6
		Inferior	Jovem	15	58	25,6	36,0	199	50	22	13
			Madura	12	41	25,0	28,6	126	32	14	8
11	Verão	Superior	Jovem	12	33	21,5	29,0	129	32	15	8
			Madura	10	25	17,8	21,2	69	17	8	4
		Mediana	Jovem	14	32	21,1	26,5	108	27	12	7
			Madura	13	28	19,7	21,6	72	18	8	5
		Inferior	Jovem	16	36	24,9	25,0	96	24	11	6
			Madura	15	35	23,3	25,2	98	25	11	6
	Inverno	Superior	Jovem	5	33	18,0	37,1	212	53	24	13
			Madura	8	31	17,1	33,8	176	44	20	11
		Mediana	Jovem	6	30	19,2	30,7	145	36	16	9
			Madura	11	27	17,4	26,7	110	27	12	7
		Inferior	Jovem	9	30	20,3	28,3	123	31	14	8
			Madura	9	29	19,4	26,1	105	26	12	7

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

4.7.1. Efeito da idade do povoamento

Para o povoamento com 6 anos de idade, os teores de B variaram de 12 a 61 mg/kg, enquanto que no povoamento com 11 anos, variaram de 5 a 36 mg/kg.

Teores médios de B diferiram significativamente (DMS= 1,0) entre os povoamentos com 6 (24 mg/kg) e 11 anos de idade (20 mg/kg), diminuindo com a idade das árvores.

Resultados semelhantes foram verificados por VALERI (1988), que encontrou teores de B das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior de árvores com 7, 10 e 14 anos, respectivamente, de 25,9, 16,3 e 17,5 mg/kg.

4.7.2. Efeito da estação do ano

Não houve variações significativas para os teores médios de B entre o verão e inverno, que foram de 22 mg/kg para ambas estações.

4.7.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Diferenças estatisticamente significantes para os teores de B ocorreram entre as árvores amostradas nos povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos de idade.

Para o povoamento com 6 anos, verificou-se teores de B significativamente diferentes entre as árvores amostradas no verão ($F = 1,90$; $P < 0,05$) e no inverno ($F = 8,36$; $P < 0,01$). As variações entre árvores podem explicar cerca de 46% da variação total de B.

Para o povoamento com 11 anos, encontrou-se diferenças significativas para os teores de B entre as árvores amostradas durante o verão ($F = 4,65$; $P < 0,01$) e inverno ($F = 5,01$; $P < 0,01$). As variações entre árvores com 11 anos podem explicar aproximadamente 35% e 42% da variação total para B, respectivamente, no verão e inverno.

As maiores variações entre árvores ocorridas no inverno relacionam-se com o menor crescimento das árvores, causando uma "concentração de B" das acículas, que ocorre em graus diferenciados entre as árvores dependendo das quantidades acumuladas deste nutriente na copa.

4.7.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Os teores médios de B diferiram significativamente ($DMS = 1,4$) entre as posições de amostragem na copa das árvores de ambos povoamentos, com valores mais altos na posição inferior da copa (23,6 mg/kg) e menores, igualmente, nas posições superior (21,9 mg/kg) e mediana da copa (20,8 mg/kg). Por outro lado, a análise de variância individual para cada um dos povoamentos, revelou que as diferenças para os teores de B das acículas não foram significativas entre as posições de amostragem na copa de árvores com 6 e 11 anos, amostradas tanto no verão ($F = 1,23$ ns e $F = 1,51$ ns, respectivamente) como no inverno ($F = 1,48$ ns e $F = 1,28$ ns, respectivamente).

Como os teores foliares de B variaram muito pouco entre as posições de amostragem na copa e a análise de variância individual não detectou diferenças significativas entre estas posições, considerou-se o padrão de distribuição do B na copa como sendo do tipo I, identificado por VAN DEN DRIESCHE (1974).

4.7.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Gradientes horizontais estatisticamente significantes ($DMS = 1,0$) ocorreram para os teores médios, com maiores valores sendo encontrados nas acículas jovens (23 mg/kg) e menores nas acículas maduras (21 mg/kg). A diminuição dos teores de B com o aumento da idade da acícula deve-se, provavelmente, ao aumento da produção de matéria seca, causando uma "diluição deste nutriente". É preciso considerar que, mesmo sendo a mobilidade do boro muito baixa na planta, quando os teores deste nutriente na folhagem madura são bons pode ocorrer uma redistribuição para as partes novas em crescimento, conforme apresentado por HILL & LAMBERT (1981).

4.7.6. Recomendação de amostragem

Para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos de idade, a amostragem para avaliação nutricional do B (Tabela 11) deve ser feita durante o verão, coletando-se acículas jovens da posição mediana da copa, em 20 árvores para 10% de erro ou 9 árvores para um erro de 15%.

Para o povoamento com 11 anos, pode-se amostrar, no verão, acículas maduras da posição superior da copa, em 15 árvores para um erro de 10% ou 8 árvores para 15% de erro. Também, nesta mesma estação do ano, pode-se amostrar acículas jovens da posição inferior da copa, em 24 árvores para um erro de 10% ou 11 árvores para 15% de erro.

Na prática, para avaliação do estado nutricional do boro em povoamentos de *P. taeda* sugere-se a amostragem no verão, de acículas jovens do meio da copa, em aproximadamente 27 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro permissível de 10% ou 12 árvores para um erro de 15%.

4.7.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de B das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, teores variando de 15 a 35 mg/kg e 15 a 29 mg/kg, respectivamente. De acordo com ZÖTTL (1973), considera-se teores deficientes de B àqueles inferiores a 10 mg/kg.

Para o local equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), os teores médios de B das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, para os povoamentos de *P. taeda* com 6 (26 mg/kg) e 11 anos (17 mg/kg), podem ser considerados adequados por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981).

Com relação ao local de amostragem sugerido no presente trabalho, isto é, acículas jovens da posição mediana da copa, no verão, os valores encontrados para os povoamentos com 6 (21 mg/kg) e 11 anos (21 mg/kg), também podem ser considerados adequados.

Resultados semelhantes foram encontrados por DOLDÁN (1987) e VALERI (1988), estudando povoamentos de *P. taeda* em Telêmaco Borba-PR, que foi a mesma Região do presente trabalho.

Por outro lado, REISSMANN & ZÖTTL (1987) observou teores médios de B das acículas do 2º verticilo superior para povoamentos de *P. taeda*, com 15 anos de idade, sem sintomas visuais de deficiência, medianamente e fortemente afetados pela deficiência, respectivamente, de 34, 46 e 29 mg/kg. Sintomas visuais de deficiência de boro foram constatados neste trabalho.

4.8. COBRE

Os fatores estudados que mais afetaram os teores de cobre das acículas, de acordo com os resultados da análise de variância comparativa (Quadro 3), foram: idade do povoamento ($F= 40,28$; $P<0,01$), posição de amostragem na copa ($F= 9,59$; $P<0,01$) e estágio fisiológico da acícula a ser amostrada ($F= 3,75$; $P<0,05$). No entanto, não houve efeito significativo da estação do ano ($F= 0,15$ ns) e posição da árvore no povoamento ($F= 0,42$ ns).

Na Tabela 12 são apresentados os resultados das variações do teores de Cu das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos de idade. Dos nutrientes estudados, o Cu foi o que apresentou os parâmetros mais altos de variação.

4.8.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de Cu das acículas variaram de 1 a 24 mg/kg no povoamento com 6 anos e de 1 a 16 mg/kg no povoamento com 11 anos.

Tabela 12. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional foliar do cobre (Cu) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de Cu				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
6	Verão ^c	Superior	Jovem	2	24	8,4	61,7	585	146	65	37
			Madura	1	18	6,6	61,1	574	144	64	36
		Mediana	Jovem	1	20	6,4	56,6	492	123	55	31
			Madura	1	16	6,5	68,6	723	181	80	45
		Inferior	Jovem	2	10	5,9	47,5	347	87	39	22
			Madura	1	16	5,6	65,8	665	166	74	42
	Inverno ^d	Superior	Jovem	2	13	5,8	46,1	327	82	36	21
			Madura	2	12	5,7	50,9	398	100	44	25
		Mediana	Jovem	2	11	5,6	48,8	366	92	41	23
			Madura	2	11	5,5	52,8	429	107	48	27
		Inferior	Jovem	1	10	5,2	51,3	405	101	45	25
			Madura	2	9	4,8	50,0	384	96	43	24
11	Verão	Superior	Jovem	2	8	5,2	31,6	154	39	17	10
			Madura	1	16	4,8	63,9	628	157	70	39
		Mediana	Jovem	1	8	4,3	40,6	253	63	28	16
			Madura	1	7	3,4	47,2	342	86	38	21
		Inferior	Jovem	1	8	3,9	52,3	420	105	47	26
			Madura	1	9	3,3	60,4	561	140	62	35
	Inverno	Superior	Jovem	3	9	5,6	32,5	162	41	18	10
			Madura	1	8	5,0	42,3	275	69	31	17
		Mediana	Jovem	1	7	4,2	44,9	310	78	35	19
			Madura	1	9	4,5	47,7	350	88	39	22
		Inferior	Jovem	1	8	4,3	40,0	246	62	27	15
			Madura	2	10	4,8	41,2	261	65	29	16

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

Os teores médios de Cu foram significativamente (DMS= 0,5) superiores para o povoamento com 6 anos (6,0 mg/kg) comparado aos teores do povoamento com 11 anos (4,4 mg/kg).

A diminuição dos teores de Cu das acículas com a idade do povoamento também foi encontrada por VALERI (1988). Os teores médios de Cu das acículas do 2º verticilo superior das árvores com 7, 10 e 14 anos foram de 13,7, 10,6 e 8,8 mg/kg, respectivamente. Para as acículas vivas das árvores, os teores foram de 10,3, 11,7 e 8,7 mg/kg. No entanto, os teores de Cu encontrados por VALERI (1988) foram superiores do que os teores verificados no presente trabalho.

4.8.2. Efeito da estação do ano

Os valores de Cu não diferiram estatisticamente (DMS= 0,5) entre as estações do ano, mas foram ligeiramente mais altos no verão (5,4 mg/kg) em relação àqueles obtidos no inverno (5,1 mg/kg). Teores de Cu mais altos no verão, provavelmente, relacionam-se com a baixa mobilidade deste elemento na planta, que é pouco redistribuído no início da estação de crescimento e assim, acumula-se no verão.

4.8.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Não houve diferenças estatisticamente significantes para os teores foliares de Cu entre as árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, com 6 e 11 anos de idade.

No entanto, a análise de variância individual para cada um dos povoamentos revelou diferenças significativas entre as árvores para o cobre. Para os povoamento com 6 e 11 anos de idade, verificou-se teores estatisticamente significantes para o Cu entre as árvores amostradas no verão ($F= 3,34$; $P<0,01$ e $F= 2,80$; $P<0,01$, respectivamente) e inverno ($F= 13,26$; $P<0,01$ e $F= 3,47$; $P<0,01$, respectivamente). As variações entre árvores com 6 anos que ocorreram no inverno e verão, podem explicar cerca de 68% e 25% da variação total dos teores de cobre, respectivamente. Para o povoamento com 11 anos, as variações entre árvores, amostradas tanto no verão

como no inverno, podem explicar aproximadamente 28% da variação total dos teores de cobre.

As maiores variações entre árvores que ocorreram durante o inverno para o povoamento com 6 anos relacionam-se com a baixa taxa de crescimento das árvores, causando uma "concentração de cobre" que varia entre árvores de diferentes classes diamétrais. Por outro lado, as diferenças para os teores de Cu entre árvores com 11 anos de idade podem ser atribuídas às diferentes taxas de redistribuição deste elemento, que variam em função das quantidades acumuladas do mesmo.

4.8.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Valores médios significativamente ($DMS = 0,7$) mais altos de Cu ocorreram na posição superior da copa (5,9 mg/kg) e menores, igualmente, nas posições mediana (5,1 mg/kg) e inferior da copa (4,7 mg/kg). A distribuição dos teores de Cu na copa mostra uma tendência de maiores valores no topo reduzindo-se em direção à base da copa, podendo ser considerada como sendo do tipo II, identificado por VAN DEN DRIESSCHE (1974).

Diferenças estatisticamente significantes ocorreram para os teores foliares de Cu entre as posições da copa de árvores com 6 anos, amostradas no inverno ($F = 2,35$; $P < 0,01$) e com 11 anos, no verão ($F = 2,32$; $P < 0,01$). No entanto, não houve diferença significativa entre as posições de amostragem na copa de árvores com 6 anos, durante o verão ($F = 1,29$ ns) e com 11 anos, no inverno ($F = 1,51$ ns). Estes resultados estão relacionados com o efeito de concentração do Cu nas árvores mais jovens e com o mecanismo de redistribuição nas árvores mais velhas.

Verificou-se ainda que, a variação entre árvores para os teores de Cu foi maior do que a variação dentro da árvore para este nutriente. Estes resultados são concordantes com aqueles apresentados por TAMM (1964).

4.8.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Gradientes horizontais estatisticamente significantes ($DMS = 0,5$) não foram encontrados para Cu, mas os teores médios das acículas jovens (5,4 mg/kg) foram ligeiramente superiores àqueles das maduras (5,0 mg/kg). A diminuição dos teores de Cu com o aumento da idade da folhagem deve estar relacionada, principalmente, com o aumento relativo na produção de material estrutural e de compostos de reserva (MARSCHNER, 1986), ocorrendo uma "diluição deste nutriente" nas acículas maduras.

4.8.6. Recomendação de amostragem

Para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos de idade, a amostragem para avaliação nutricional do cobre (Tabela 12) deve ser feita no inverno, coletando-se acículas jovens da posição superior da copa, em cerca de 36 e 21 árvores para um erro de amostragem de 15 e 20%, respectivamente.

Para o povoamento com 11 anos de idade, também recomenda-se amostrar acículas jovens na posição superior da copa, no inverno, em aproximadamente 18 e 10 árvores para um erro de 15 e 20% (Tabela 12).

Na prática, sugere-se para a avaliação do estado nutricional do cobre em *P. taeda*, a coleta de acículas jovens da posição superior da copa, no inverno, em aproximadamente 82 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro desejado de 10% e 36 árvores para um erro de 15%.

4.8.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de Cu das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, os teores compreendidos entre 4 e 5 mg/kg e entre 5 e 7 mg/kg, respectivamente. Segundo ZÖTTL (1973), valores de Ca inferiores a 2 g/kg são considerados deficientes para *Pinus*.

Para o local equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), os teores médios de Cu das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, encontrados para os povoamentos com 6 (5,7 mg/kg) e 11 anos (5,0 mg/kg) podem ser considerados bons por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981).

Para os locais de amostragem sugeridos no presente trabalho, verificou-se teores médios de Cu das acículas jovens da posição superior da copa, no inverno, de 5,8 e 5,6 mg/kg, respectivamente, para povoamentos com 6 e 11 anos de idade, sendo também considerados bons por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981). Sintomas visuais de deficiência de Cu não foram observados nos povoamentos de *P. taeda* estudados.

Resultados similares para os teores de Cu das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior em povoamentos de *P. taeda*, na mesma Região do presente estudo (Telêmaco Borba-PR), foram apresentados por DOLDÁN (1987) e REISSMANN & ZÖTTL (1987).

É preciso salientar que, a classificação agrícola utilizada para interpretar os teores de Cu no solo (RAIJ, 1991b) não foi adequada para os povoamentos de *P. taeda*, pois os teores foliares de Cu foram considerados bons, enquanto que os teores do solo (Tabela 3) foram interpretados como sendo altos.

4.9. FERRO

Os fatores que mais afetaram os teores de Fe das acículas, com base nos resultados da análise de variância (Quadro 3), foram: estação do ano ($F=135,12$; $P<0,01$), estágio fisiológico da acícula ($F=122,76$; $P<0,01$), idade do povoamento ($F=85,07$; $P<0,01$), posição de amostragem na copa ($F=15,29$; $P<0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F=2,70$; $P<0,01$).

Os resultados das variações dos teores de Fe das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda* são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do ferro (Fe) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de Fe				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
6	Verão ^c	Superior	Jovem	54	182	88,5	30,8	146	37	16	9
			Madura	55	187	107,4	35,2	191	48	21	12
		Mediana	Jovem	56	144	82,8	26,0	104	26	12	7
			Madura	49	176	127,3	23,7	86	22	10	6
		Inferior	Jovem	44	191	102,5	41,0	258	65	29	16
			Madura	122	279	183,3	24,7	94	24	11	6
	Inverno ^d	Superior	Jovem	96	347	165,7	34,6	184	46	21	12
			Madura	81	300	176,7	35,3	192	48	21	12
		Mediana	Jovem	74	305	145,8	38,3	226	56	25	14
			Madura	105	292	158,5	29,3	132	33	15	8
		Inferior	Jovem	75	265	146,6	34,8	186	47	21	12
			Madura	125	986	225,2	75,8	883	221	98	55
11	Verão	Superior	Jovem	46	158	84,3	28,7	127	32	14	8
			Madura	51	127	93,1	22,7	79	20	9	5
		Mediana	Jovem	40	108	72,4	20,5	65	16	7	4
			Madura	84	175	120,3	20,3	63	16	7	4
		Inferior	Jovem	51	160	88,0	27,3	115	29	13	7
			Madura	102	177	140,9	14,4	32	8	4	2
	Inverno	Superior	Jovem	71	366	123,8	52,0	416	104	46	26
			Madura	51	208	122,5	31,5	153	38	17	10
		Mediana	Jovem	56	217	108,3	35,5	194	49	22	12
			Madura	88	281	126,7	32,2	159	40	18	10
		Inferior	Jovem	75	158	106,3	18,7	54	14	6	3
			Madura	70	207	121,6	25,4	99	25	11	6

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

4.9.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de Fe das acículas variaram de 44 a 986 mg/kg para o povoamento com 6 anos e de 40 a 366 mg/kg para o povoamento com 11 anos.

Os teores médios de Fe foram significativamente (DMS= 8) superiores para o povoamento com 6 anos (143 mg/kg) do que os teores daquele com 11 anos (109 mg/kg).

A redução dos teores foliares de Fe com o aumento da idade do povoamento também foi observada por VALERI (1988). Os teores médios de Fe das acículas do 2º verticilo superior de árvores de *P. taeda* com 7, 10 e 14 anos, foram de 166, 135 e 141 mg/kg, respectivamente.

4.9.2. Efeito da estação do ano

Diferenças estatisticamente significantes (DMS= 8) ocorreram para os teores médios de Fe entre as estações do ano amostradas, com maiores valores ocorrendo durante o inverno (144 mg/kg) e menores no verão (108 mg/kg).

Este resultado, provavelmente, deve-se ao maior crescimento no verão e, conseqüentemente, diminuição dos teores de Fe, causado pela "diluição deste nutriente". No inverno, ocorreu o contrário, menor crescimento e portanto teores mais elevados de Fe, devido ao efeito de concentração.

4.9.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Através da análise de variância comparativa (Quadro 3), verificou-se efeito significativo para os teores médios de Fe entre as árvores dos povoamento com 6 e 11 anos de idade.

Entretanto, pela análise de variância individual, foram encontradas diferenças estatisticamente significantes para o Fe somente entre as árvores com 11 anos de idade, amostradas no verão ($F= 2,23$; $P<0,01$) e no inverno ($F= 3,26$; $P<0,01$). A variação entre árvores para os teores foliares de Fe pode explicar entre 11% e 26% da variação total, respectivamente, no verão e inverno. Estes resultados, provavelmente, relacionam-se com diferentes quantidades

acumuladas de Fe em árvores de diferentes classes de diâmetro. No inverno, as taxas de crescimento reduzem-se, diminuem as taxas de redistribuição e, conseqüentemente, aumentam os teores de Fe, devido ao efeito de concentração.

Para o povoamento com 6 anos de idade, não houve diferenças significativas para os teores de Fe entre as árvores, tanto no verão ($F= 1,13$ ns) como no inverno ($F= 1,60$ ns). Deste modo, pode-se amostrar árvores de qualquer classe de diâmetro para avaliação nutricional do Fe neste povoamento de *P. taeda*.

4.9.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Através da análise de variância (Quadro 3) e teste de Tukey, constatou-se teores médios de Fe das acículas significativamente ($DMS= 12$) mais altos na posição inferior da copa (140 mg/kg) e menores, igualmente, nas posições superior (120 mg/kg) e mediana da copa (118 mg/kg). Este padrão de distribuição de Fe na copa não foi identificado por VAN DEN DRIESSCHE (1974).

Por outro lado, na análise de variância individual para cada idade de povoamento não foram detectadas diferenças significativas para os teores de Fe entre as posições de amostragem na copa para as árvores com 6 e 11 anos de idade, amostradas no verão ($F= 0,79$ ns e $F= 0,59$ ns, respectivamente) e inverno ($F= 1,44$ ns e $1,35$ ns, respectivamente).

Para os dois povoamentos estudados, observou-se que as variações entre árvores para os teores de Fe foram maiores do que as variações dentro da árvore, similarmente àqueles resultados apresentados por TAMM (1964).

4.9.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Gradientes horizontais estatisticamente significantes ($DMS= 8$) foram encontrados para Fe, onde os teores médios das acículas maduras (142 mg/kg) foram superiores do que os teores das acículas jovens (110 mg/kg).

O aumento dos teores de Fe com o avanço da idade da acícula relaciona-se, provavelmente, com a baixa mobilidade deste elemento na planta, que se redistribui muito pouco para os tecidos novos em crescimento, causando um acúmulo nas acículas mais velhas.

Houve interação significativa entre estágio fisiológico da acícula e estação do ano ($F = 27,73$; $P < 0,01$) e entre estágio fisiológico da acícula e posição de amostragem na copa ($F = 14,56$; $P < 0,01$), devido às diferentes taxas de crescimento das árvores entre as estações do ano e a tendência de acúmulo do Fe na posição inferior da copa em função da sua baixa redistribuição.

4.9.6. Recomendação de amostragem

Para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos de idade, a amostragem para avaliação do ferro (Tabela 13) deve ser feita no verão, coletando-se acículas maduras da posição inferior ou mediana da copa em, respectivamente, 22 ou 24 árvores para um erro permissível de 10% e em 10 ou 11 árvores para um erro de 15%.

Para o povoamento com 11 anos (Tabela 13), também pode-se amostrar no verão, coletando-se acículas maduras na posição inferior da copa, em 32, 8 e 4 árvores para erros de 5, 10 e 15%, respectivamente.

Na prática, sugere-se a amostragem para avaliação do estado nutricional do ferro em *P. taeda*, no verão, coletando-se acículas maduras da posição inferior da copa, em cerca de 24 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro desejado de 10% ou 11 árvores para 15% de erro.

4.9.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de Fe das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, os teores compreendidos entre 45 a 200 mg/kg e entre 133 a 165 mg/kg, respectivamente.

Segundo ZÖTTL (1973), valores de Fe inferiores a 30 mg/kg são considerados deficientes para *Pinus*.

Para o local correspondente do sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), os teores médios de Fe das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, encontrados para os povoamentos com 6 (177 mg/kg) e 11 anos (123 mg/kg) podem ser considerados bons por ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981).

Com relação ao local de amostragem sugerido no presente trabalho, isto é, acículas maduras da posição inferior da copa, no verão, verificou-se que os teores médios de Fe para os povoamentos com 6 (127 mg/kg) e 11 anos (141 mg/kg), também podem ser considerados bons pelos mesmos autores citados anteriormente. Sintomas visuais de deficiência de Fe não foram observados nos povoamentos de *P. taeda*.

Resultados similares para os teores de Fe das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior em povoamentos de *P. taeda*, com idades variando entre 7 e 16 anos, na mesma Região do presente estudo (Telêmaco Borba-PR), foram apresentados por DOLDÁN (1987), REISSMANN & ZÖTTL (1987) e VALERI (1988).

4.10. MANGANÊS

Os fatores que mais afetaram os teores de Mn das acículas, com base nos resultados da análise de variância comparativa (Quadro 3), foram: idade do povoamento ($F= 277,05$; $P<0,01$), posição de amostragem na copa ($F= 60,50$; $P<0,01$), estação do ano ($F= 30,76$; $P<0,01$), posição da árvore no povoamento ($F= 7,14$; $P<0,01$) e estágio fisiológico da acícula ($F= 5,26$; $P<0,05$).

Os resultados das variações dos teores de Mn das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda*, com 6 e 11 anos, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do manganês (Mn) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de Mn				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
6	Verão ^c	Superior	Jovem	142	478	262,0	36,7	207	52	23	13
			Madura	81	928	222,0	79,5	971	243	108	61
		Mediana	Jovem	134	550	291,0	36,3	203	51	23	13
			Madura	162	790	355,5	40,8	256	64	27	16
		Inferior	Jovem	133	683	320,3	39,8	244	61	27	15
			Madura	234	800	441,4	29,6	135	34	15	9
	Inverno ^d	Superior	Jovem	217	718	410,0	31,9	157	39	18	10
			Madura	170	604	351,7	35,8	197	49	22	12
		Mediana	Jovem	211	578	383,8	24,8	95	24	11	6
			Madura	178	586	349,2	26,3	106	27	12	7
		Inferior	Jovem	236	492	365,6	18,5	52	13	6	3
			Madura	269	660	442,2	25,6	101	58	26	15
11	Verão	Superior	Jovem	200	826	397,9	40,5	252	63	28	16
			Madura	173	344	414,6	49,9	383	96	43	24
		Mediana	Jovem	283	828	473,7	25,9	103	26	12	7
			Madura	387	1068	697,9	28,1	121	30	14	8
		Inferior	Jovem	338	900	535,3	27,7	118	30	13	7
			Madura	368	1216	711,8	29,4	133	33	15	8
	Inverno	Superior	Jovem	232	829	491,0	28,7	127	32	14	8
			Madura	154	667	413,7	32,5	162	41	18	10
		Mediana	Jovem	183	1000	558,0	33,9	177	44	20	11
			Madura	314	988	533,7	31,7	155	39	17	10
		Inferior	Jovem	248	1008	618,4	29,1	130	33	15	8
			Madura	386	1141	682,6	28,8	128	32	14	8

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

4.10.1. Efeito da idade do povoamento

Os teores de Mn das acículas variaram de 81 a 928 mg/kg e de 154 a 1.216 mg/kg, respectivamente, nos povoamentos com 6 e 11 anos de idade.

Os teores médios de Mn diferiram significativamente (DMS= 23,6) para os povoamentos com 6 (350 mg/kg) e 11 anos (544 mg/kg), aumentando com o avanço da idade das árvores.

Resultados discordantes foram apresentados por VALERI (1988). Este autor constatou que os teores médios de Mn diminuíram com o aumento da idade das árvores de *P. taeda*, sendo de 386 e 253 mg/kg para árvores com 7 e 10 anos, respectivamente.

4.10.2. Efeito da estação do ano

Os teores médios de Mn das acículas foram significativamente (DMS= 23,6) mais altos no inverno (467 mg/kg) do que no verão (427 mg/kg), provavelmente devido aos efeitos de concentração e diluição, respectivamente.

No entanto, MEAD & PRITCHETT (1974), estudando povoamentos de *P. elliottii* var. *elliottii* com 11 anos, não encontraram diminuições nos teores foliares de Mn no verão. PAYN & CLOUGH (1987) constataram que as variações sazonais não foram significativas para os teores de Mn em *P. radiata*, ocorreram somente flutuações mensais.

4.10.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Houve diferença altamente significativa para os teores de Mn entre as árvores de diferentes classes de diâmetro dos povoamentos de *P. taeda* estudados.

Para o povoamento com 6 anos, verificou-se que os teores foliares de Mn diferiram significativamente entre as árvores amostradas, tanto no verão ($F= 2,13$; $P<0,05$) como no inverno ($F= 5,97$; $P<0,01$). A variação entre árvores pode explicar aproximadamente 20% e 51% da variação total do Mn ocorrida, respectivamente, no verão e inverno.

Para o povoamento com 11 anos, houve diferença significativa para o Mn entre as árvores somente no inverno ($F = 3,52$; $P < 0,01$), que pode explicar cerca de 38% da variação total deste nutriente. No entanto, os teores de Mn não diferiram significativamente no verão ($F = 1,70$ ns). Conseqüentemente, no verão, pode-se amostrar árvores de qualquer classe de diâmetro para representar o estado nutricional do Mn.

As maiores variações entre árvores para os teores de Mn das acículas, ocorridas no inverno, relacionam-se com diminuição das taxas de crescimento e "concentração deste nutriente".

4.10.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Com base na análise de variância (Quadro 3) e teste de Tukey, encontrou-se teores médios de Mn das acículas significativamente ($DMS = 34,5$) mais altos na posição inferior da copa (515 mg/kg) do que nas posições mediana (455 mg/kg) e superior da copa (370 mg/kg). Este padrão de distribuição do Mn, em que os teores aumentam do topo para a base da copa, corresponde ao tipo III identificado por VAN DEN DRIESSCHE (1974).

Diferenças significativas para os teores de Mn ocorreram entre as posições da copa de árvores com 6 e 11 anos, amostradas no verão ($F = 1,94$; $P < 0,01$ e $F = 3,52$; $P < 0,01$, respectivamente) e inverno ($F = 1,96$; $P < 0,01$ e $F = 3,40$; $P < 0,01$, respectivamente).

Verificou-se ainda que, para os povoamentos de *P. taeda* com 6 e 11 anos de idade, a variação dentro da árvore para os teores de Mn foi significativamente maior do que a variação entre árvores amostradas no verão. Estes resultados também foram encontrados por Slitcher¹ (1984), citado por WEETMAN & WELLS (1990). Por outro lado, no inverno, ocorreu

¹ SLITCHER, T.K. Seasonal variation in nitrogen and phosphorus composition of plantation grown American sycamore foliage. Raleigh, 1984. (M.S. - North Carolina University)

o contrário, isto é, a variação entre árvores foi maior do que a variação dentro da árvore, semelhantemente aos resultados apresentados por TAMM (1964). Analisando-se estes resultados, conclui-se que a variação entre árvores e dentro da árvore para os teores foliares de Mn varia em função da estação do ano.

4.10.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Os teores médios de Mn foram significativamente (DMS= 23,6) mais altos nas acículas jovens (426 mg/kg) do que nas acículas maduras (468 mg/kg). Em contraste aos elementos móveis, os teores de Mn aumentaram com a idade das acículas. Resultados semelhantes foram apresentados para *P. elliotii* var. *elliotii* por MEAD & PRITCHETT (1974), indicando que a redistribuição para outros tecidos foi mínima.

Interações significativas ocorreram entre estágio fisiológico da acícula e estação do ano ($F= 12,27$; $P<0,01$) e entre estágio fisiológico da acícula e posição de amostragem na copa ($F= 17,37$; $P<0,01$). Estes resultados relacionam-se com diferentes taxas de crescimento entre as estações do ano e a tendência de acúmulo do Mn na posição inferior da copa, em função da sua baixa redistribuição.

4.10.6. Recomendação de amostragem

Para os povoamentos com 6 e 11 anos de idade, a amostragem para o Mn (Tabela 14) deve ser feita no inverno, coletando-se acículas maduras da posição inferior da copa. Para o povoamento com 6 anos, deve-se amostrar 26 ou 15 árvores para erros de amostragem de 15 ou 20%, respectivamente, enquanto que no povoamento com 11 anos, deve-se amostrar 32 ou 14 árvores para um erro de 10 ou 15%.

Na prática, para a avaliação nutricional do manganês recomenda-se amostrar, no inverno, acículas maduras da posição inferior da copa, em aproximadamente 58 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro de amostragem de 10% ou 26 árvores para um erro de 15%.

Os resultados do presente trabalho discordam de BOULD (1983) e MARSCHNER (1986), que sugeriram a utilização de folhas jovens para a avaliação de elementos de baixa mobilidade, como é o caso do manganês.

MEAD & PRITCHETT (1974) constataram que o outono e o inverno foram as estações do ano mais adequadas para amostragem dos elementos de baixa mobilidade nas plantas, como o Mn, pois nestas estações do ano houve uma relativa estabilidade para os teores deste nutriente entre as árvores de *P. elliotii* var. *elliotii*. Este mesmo autor verificou que é necessário amostrar 27 árvores para um erro de 10%.

4.10.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de Mn das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, teores variando de 20 a 800 mg/kg e 210 a 363 mg/kg, respectivamente. Segundo ZÖTTL (1973), considera-se deficientes teores de Mn inferiores a 4 mg/kg.

Os resultados dos teores médios de Mn das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), para os povoamentos de *P. taeda* com 6 (352 mg/kg) e 11 anos de idade (414 mg/kg) revelam valores considerados bons por ZÖTTL (1973) e REISSMANN & ZÖTTL (1981).

Para os locais de amostragem recomendados no presente trabalho, isto é, acículas maduras da posição inferior da copa, no inverno, encontrou-se teores médios de Mn de 442 e 683 mg/kg, respectivamente, para povoamentos com 6 e 11 anos de idade, que podem ser considerados bom por ZÖTTL (1973).

Resultados encontrados por DOLDÁN (1987), REISSMANN & ZÖTTL (1987) e VALERI (1988), mostraram teores médios de Mn das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior inferiores aos teores obtidos no presente trabalho.

4.11. ZINCO

Os fatores estudados que mais afetaram o teor de Zn das acículas, de acordo com os resultados da análise de variância comparativa (Quadro 3), foram: posição de amostragem na copa ($F= 52,73$; $P<0,01$), estação do ano ($F= 21,58$; $P<0,01$), estágio fisiológico da acícula a ser amostrada ($F= 14,66$; $P<0,01$) e posição da árvore no povoamento ($F= 8,77$; $P<0,01$). No entanto, não houve efeito significativo da idade do povoamento ($F= 0,0$ ns).

Na Tabela 15 são apresentados os resultados das variações do teores de Zn das acículas e a intensidade de amostragem para os povoamentos de *P. taeda*.

4.11.1. Efeito da idade do povoamento

Para o povoamento com 6 anos de idade, os teores de Zn variaram de 2 a 56 mg/kg, enquanto que no povoamento com 11 anos, variaram de 6 a 41 mg/kg.

Os teores médios de Zn não diferiram ($DMS= 1,1$) estatisticamente entre os povoamentos com 6 (21,6 mg/kg) e 11 anos (20,7 mg/kg), mas houve uma pequena redução com o avanço da idade das árvores.

VALERI (1988) observou que os teores médios de Zn das acículas do 2º verticilo superior de árvores com 7, 10 e 14 anos diminuíram com a idade da árvore, sendo de 30,0, 27,5 e 22,5 mg/kg, respectivamente.

4.11.2. Efeito da estação do ano

Os teores médios de Zn foram significativamente ($DMS= 1,1$) mais altos no inverno (22,5 mg/kg) do que no verão (19,8 mg/kg). MEAD & PRITCHETT (1974) encontraram resultados similares para *P. elliotii* var. *elliotii*. Esta redução dos teores de Zn no verão, relaciona-se com o aumento da redistribuição deste elemento para as partes mais novas durante a estação de crescimento, causando uma "diluição deste nutriente", enquanto que no inverno, ocorre uma "concentração deste nutriente".

Tabela 15. Teores (mínimo, máximo e médio), variações entre árvores (C.V.) e intensidade de amostragem para avaliação nutricional do zinco (Zn) de povoamentos de *Pinus taeda*. Estatísticas baseadas em 24 árvores por estação do ano e por idade do povoamento.

Idade do povoamento	Estação do ano	Posição da copa	Acícula ^a	Teor de Zn				n ^b onde o erro é			
				Min.	Máx.	Médio	C.V.	5	10	15	20
				----- mg/kg -----				----- % -----			
6	Verão ^c	Superior	Jovem	12	43	23,9	30,6	144	36	16	9
			Madura	8	55	20,8	44,5	304	76	34	19
		Mediana	Jovem	8	45	19,3	39,8	244	61	27	15
			Madura	6	47	16,3	48,8	366	92	41	23
		Inferior	Jovem	7	42	17,6	42,0	271	68	30	17
			Madura	8	49	14,3	58,5	526	132	59	33
	Inverno ^d	Superior	Jovem	11	56	31,8	34,4	182	46	20	12
			Madura	9	45	28,6	30,7	145	36	16	9
		Mediana	Jovem	2	42	23,8	40,5	252	63	28	16
			Madura	10	39	23,6	34,3	181	45	20	11
		Inferior	Jovem	8	43	21,1	36,9	209	52	23	13
			Madura	8	37	18,6	38,8	231	58	26	15
11	Verão	Superior	Jovem	11	41	24,0	32,0	158	39	18	10
			Madura	12	39	23,8	29,8	137	34	15	9
		Mediana	Jovem	10	41	21,3	35,1	189	47	21	12
			Madura	9	31	19,2	30,6	144	36	16	9
		Inferior	Jovem	11	33	19,6	30,2	140	35	16	9
			Madura	11	23	17,4	24,3	91	23	10	6
	Inverno	Superior	Jovem	13	38	24,6	26,6	109	27	12	7
			Madura	7	41	24,2	34,7	185	46	21	12
		Mediana	Jovem	6	35	21,7	29,3	132	33	15	8
			Madura	10	26	18,2	21,1	69	17	8	4
		Inferior	Jovem	7	27	18,1	25,0	96	24	11	6
			Madura	8	24	16,3	24,2	90	23	10	6

^a Estágio fisiológico.

^b Número de árvores necessário para estimar a média dentro de diferentes intervalos de confiança e com 95% de probabilidade da média verdadeira se encontrar dentro daqueles limites.

^c Meio de fevereiro de 1992.

^d Meio de julho de 1992.

4.11.3. Efeito da posição da árvore no povoamento

Houve diferenças estatisticamente significantes para os teores foliares de Zn entre as árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, com 6 e 11 anos de idade.

Para o povoamento com 6 anos, detectou-se diferenças significativas para os teores de Zn entre árvores, amostradas no verão ($F = 5,54$; $P < 0,01$), mas não houve diferenças no inverno ($F = 1,31$ ns). As variações entre árvores encontradas no verão podem explicar aproximadamente 47% da variação total do Zn. No inverno, pode-se amostrar árvores em qualquer classe de diâmetro para caracterizar os níveis de Zn.

Houve diferenças estatisticamente significantes entre as árvores do povoamento com 11 anos, amostradas tanto no verão ($F = 2,00$; $P < 0,05$) como no inverno ($F = 3,48$; $P < 0,01$). Estas variações entre árvores podem explicar cerca de 8% e 38% da variação total do Zn ocorrida no verão e inverno, respectivamente.

Deste modo, verifica-se comportamentos nutricionais distintos para Zn entre povoamentos com 6 e 11 anos. Para o povoamento mais jovem existe uma dependência muito grande do Zn do solo (ATTIWILL, 1979; MILLER, 1981). No verão, estação na qual ocorre o maior crescimento das árvores, os teores de Zn do solo seriam insuficientes para manter estáveis os teores deste elemento nas acículas. Isto pode ser explicado pelo efeito de diluição para as árvores com maior potencial de crescimento (dominantes e co-dominantes) e efeito de concentração para as árvores menores. Assim, no verão, ocorre as maiores diferenças para os teores foliares de Zn entre as árvores, enquanto que no inverno, devido ao menor crescimento, as diferenças seriam muito pequenas. Por outro lado, a ciclagem interna é predominante no povoamento de 11 anos. No inverno, as diferenças entre as árvores para os teores de Zn são maiores do que no verão. Isto pode ser explicado devido a um mecanismo de acumulação de Zn, no qual

árvores maiores acumulariam maiores quantidades deste elemento, pois a redistribuição para partes mais novas seria pequena em função do menor crescimento das árvores.

4.11.4. Efeito da posição de amostragem na copa

Através da análise de variância (Quadro 3) e do teste de Tukey, verificou-se que os teores médios de Zn das acículas foram significativamente (DMS= 1,7) mais altos de Zn na posição superior da copa (25,2 mg/kg) do que nas posições mediana (20,4 mg/kg) e inferior da copa (17,9 mg/kg). Esta tendência de aumento do Zn da base para o topo da copa corresponde ao padrão de distribuição de nutrientes foliares na copa do tipo II, identificado por VAN DEN DRIESCHE (1974).

Os teores médios de Zn das acículas diferiram significativamente entre as posições da copa de árvores com 6 e 11 anos de idade, amostradas no verão ($F= 2,47$; $P<0,01$ e $F= 2,98$; $P<0,01$, respectivamente) e inverno ($F= 2,21$; $P<0,01$ e $F= 3,48$; $P<0,01$, respectivamente). A variação dos teores de Zn dentro da árvore pode explicar em torno de 29% e 17% da variação total deste nutriente ocorrida, respectivamente, no inverno e no verão, para os povoamentos estudados.

4.11.5. Efeito do estágio fisiológico da acícula

Os teores médios de Zn diferiram significativamente (DMS= 1,1) entre as acículas jovens (22,2 mg/kg) e maduras (20,1 mg/kg), mostrando uma tendência de redução do Zn com o aumento da idade da acícula. Isto pode ser explicado pelo mecanismo de redistribuição do Zn dos tecidos mais maduros para as partes novas em crescimento ativo, já que houve Zn suficiente para ser redistribuído.

4.11.6. Recomendação de amostragem

Para o povoamento de *P. taeda* com 6 anos, a amostragem para avaliação do Zn (Tabela 15) deve ser feita no inverno, coletando-se acículas jovens da posição superior, em 20 ou 11 árvores para um erro de 15 ou 20%, respectivamente.

Para o povoamento com 11 anos, pode-se amostrar no inverno, acículas maduras do meio da copa, em 17 ou 8 árvores para um erro de 10% ou 15%, respectivamente.

Na prática, para a avaliação do estado nutricional do zinco em *P. taeda*, recomenda-se amostrar no inverno, coletando-se acículas jovens da posição superior da copa, em aproximadamente 46 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para um erro desejado de 10% ou 20 árvores para um erro de 15%.

Resultados discordantes foram encontrados por MEAD & PRITCHETT (1974), que recomendaram o verão para amostragem para o zinco em *P. elliottii* var. *elliottii*, em 3 árvores para um erro de 10%.

4.11.7. Avaliação do estado nutricional

ZÖTTL (1973) e REISSMANN (1981) apresentam como sendo níveis bons de Zn das acículas do 2º lançamento do 2º verticilo superior, para diferentes espécies de *Pinus* e *P. taeda* com 8 anos de idade, teores variando de 10 a 20 mg/kg e 20 a 80 mg/kg, respectivamente. De acordo com ZÖTTL (1973), considera-se teores deficientes de Zn àqueles inferiores a 5 mg/kg.

No local equivalente ao sistema de amostragem de ZÖTTL (1973), os teores médios de Zn das acículas maduras da posição superior da copa, no inverno, para os povoamentos de *P. taeda* com 6 (29 mg/kg) e 11 anos (24 g/kg), podem ser considerados adequados por REISSMANN (1981).

Com relação ao local de amostragem sugerido no presente trabalho, os teores médios de Zn encontrados para os povoamentos com 6 (acículas jovens do topo da copa, no inverno) e 11 anos (acículas maduras do meio da copa, no inverno) foram de 32 e 18 mg/kg, respectivamente, considerados adequados por REISSMANN (1981) e ZÖTTL (1973).

Resultados semelhantes foram encontrados por DOLDÁN (1987) e VALERI (1988), estudando povoamentos de *P. taeda* em Telêmaco Borba-PR, que foi a mesma Região do presente trabalho.

Por outro lado, REISSMANN & ZÖTTL (1987) constatou sintomas visuais de deficiência de Zn em árvores de *P. taeda*, com 15 anos de idade. Os teores médios de Zn das acículas do 2º verticilo superior de povoamentos sem sintomas visuais de deficiência, medianamente e fortemente afetados pela deficiência foram de 13,8, 15 e 7,5 mg/kg, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Os teores foliares de N, P, Ca, Mg, S, B, Cu e Fe diminuíram com o aumento da idade da árvore. Por outro lado, os teores de K e Mn aumentaram com a idade da árvore. Os teores de Zn não variaram com a idade da árvore.

No inverno, os teores de N, P, Fe, Mn e Zn foram mais altos do que os teores no verão. Para Ca, K e S, os teores no verão foram mais altos do que no inverno. Os teores de Mg, B e Cu foram relativamente estáveis entre as duas estações do ano amostradas.

Os teores de P, K, Mg, S, B e Zn das acículas jovens foram superiores do que os teores das acículas maduras. Enquanto que, os teores de Ca, Fe e Mn foram mais altos nas acículas maduras. Os teores de N e Cu foram relativamente constantes entre ambos estágios fisiológicos.

Diferentes padrões de distribuição dos teores foliares de nutrientes na copa foram identificados e variaram de nutriente para nutriente. Os teores de N, P, Cu e Zn aumentaram da base para o topo da copa, enquanto que os teores de Ca e Mn aumentaram do topo para a base. Os teores de K foram máximos no topo e mínimos no meio e na base da copa, sendo que os últimos não diferiram entre si. Por outro lado, os teores de Mg e Fe foram máximos na base da copa e mínimos no meio e no topo da copa, mas os últimos não diferiram entre si. Os teores de S e B foram estáveis entre as posições de amostragem na copa.

Na prática, as recomendações de amostragem para avaliação do estado nutricional de povoamentos de *Pinus taeda* foram:

N e S - acículas maduras da posição superior da copa ou também, da posição mediana para o primeiro nutriente, no inverno, em aproximadamente 5 e 54 árvores, respectivamente, para um erro de amostragem de 10% ou 24 árvores para um erro de 15% para o último nutriente;

P, K, Cu e Zn - acículas jovens da posição superior da copa, no inverno, em 5, 15, 82 e 46 árvores, respectivamente, para um erro de 10% ou para os dois últimos nutrientes, de 36 e 20 árvores para um erro de 15%;

Ca - acículas maduras da posição mediana da copa, no verão, em cerca de 78 árvores para um erro de 10% ou 35 árvores para 15% de erro;

Mg e B - acículas jovens da posição mediana da copa, durante o verão, em 33 e 27 árvores, respectivamente, para um erro de 10% ou 15 e 12 árvores, respectivamente, para 15% de erro;

Fe - acículas maduras da posição inferior da copa, no verão, em 24 árvores para um erro de 10% ou de 11 árvores para 15% de erro;

Mn - acículas maduras da posição inferior da copa, no inverno, em 58 árvores para um erro de 10% ou 26 árvores para 15% de erro.

Caso não seja possível fazer uma amostragem específica por nutriente, sugere-se amostrar no inverno, coletando-se acículas jovens da posição superior da copa, que é o procedimento recomendado para o potássio e, também, para o fósforo, cobre e zinco. Esta recomendação baseia-se no fato que K foi o elemento mais deficiente para os povoamentos amostrados. Deve-se amostrar no mínimo 20 árvores, selecionadas em todas as classes de diâmetro, para se estimar o valor médio dos nutrientes das acículas com uma precisão aceitável, isto é, para um erro de amostragem entre 10 e 20%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ATTIWILL, P.M. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* (L'Herit.) forest. III. Growth, biomass, and net primary production. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 27: 439-58, 1979.
- _____. Nutrient cycling in *Eucalyptus obliqua* forest. IV. Nutrient uptake and nutrient return. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 28: 199-222, 1980.
- BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F. de; CARMO, D.N. do; NEVES, J.C.L. Classificação nutricional de sítios florestais - descrição de uma metodologia. *Revista Árvore*, Viçosa, 10: 112-20, 1986.
- BATAGLIA, D.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise de plantas. Campinas, Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).
- _____. & DECHEN, A.R. Critérios alternativos para diagnose foliar. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., Piracicaba, 1986, Campinas, Fundação Cargil, 1986. p.115-36.
- BAULE, H. & FRICKER, C. *The fertilizer treatment of forest trees*. München, BLV, 1970. 259p.
- BELLOTE, A.F.J. Concentração, acumulação, exportação de nutrientes pelo *Eucalyptus grandis* em função da idade. Piracicaba, 1979. 128p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- _____. Nähr элементversorgung und Wuchsleistung von gedüngten *Eucalyptus grandis* - plantagen im cerrado von São Paulo (Brasilien). Freiburg im Breisgau, A.L., Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre, 1990. 159p. (Freiburg im Breisgau, 26).
- BOULD, C. Methods of diagnosing nutrient disorders in plants. In: BOULD, C.; HEWITT FRS, E.J.; NEEDHAM, P. eds. *Diagnosis of mineral disorders in plants*. v1. London, Crown Copyright, 1983. cap. 3, p.111-36.

- BOUMA, D. Diagnosis of mineral deficiencies using plant tests. In: LAUCHLI, A. & BIELESKI, R.L. eds. *Inorganic plant nutrition*. Berlin, Springer-Verlag, 1983. cap. I.4, p.120-46. (Encyclopedia of plant physiology; new series, v. 15A).
- BUKOVAC, M.J. & WITWER, S.H. Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Plant Physiology*, London, 32: 428-35, 1957.
- CATANI, R.A. & JACINTHO, A.O. Análise química para avaliar a fertilidade do solo. Piracicaba, ESALQ, 1974. (Boletim Técnico Científico, 37)
- COCHRAN, W.G. *Sampling methods*. 3ed. New York, John Wiley & Sons, 1977.
- _____. & COX, G.M. *Experimental Design*. New York, John Wiley, 1975. 622p.
- COMERFORD, N.B. Distributional gradients and variability of concentrations in the crowns of plantation grown *Pinus resinosa*. *Plant and Soil*, The Hague, 63: 345-53, 1981.
- _____. & LEAF, A.L. An evaluation of techniques for sampling forest tree nutrient content. Part I. Sampling the crown for total nutrient content. *Forest Science*, Washington, 28: 471-80, 1982.
- DAVIS, D.E. Some effects of calcium deficiency on the anatomy of *Pinus taeda*. *American Journal of Botany*, 36: 276-82, 1949.
- DOLDÁN, M.E.Q. Desenvolvimento da altura dominante de *Pinus taeda* L. como resposta aos estímulos dos fatores do meio, na Região de Ponta Grossa. Curitiba, 1987. 119p. (Mestrado - Universidade Federal do Paraná).
- EMMERT, F.H. Chemical analysis of tissue as a means of determining nutrient requirements of deciduous fruit plants. *Proceedings of the American Society for Horticultural Science*, New York, 73: 521-47, 1959.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Curitiba. Zoneamento ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná. Brasília, EMBRAPA, 1986. 89p. (EMBRAPA-CNPF. Documentos, 17).
- _____. & FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná. Londrina, 1984. 791p. 2v. (IAPAR. Boletim Técnico, 16).

- FIFE, D.N. & NAMBIAR, E.K.S. Accumulation and retranslocation of mineral nutrients in developing needles of young radiata pine trees. *Annals of Botany*, London, **50**: 817-29, 1982.
- GESSEL, S.P. Progress and problems in mineral nutrition of forest trees. In: KOZLOWISKI, T.T. ed. *Tree growth*. New York, Ronald Press, 1962. p.221-35.
- GOODALL, D.W. & GREGORY, F.G. *Chemical composition of plants as an index of their nutritional status*. East Malling, Imperial Bureau of Horticulture and Plantation Crops, 1947. 167p. (IBHPC. Technical Communications, 17).
- HEILMAN, P.E. & GESSEL, S.P. The effect of nitrogen fertilization on the concentration and weight of nitrogen, phosphorus, and potassium in Douglas-fir trees. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, **27**: 102-5, 1963.
- HILL, J. & LAMBERT, M.J. Physiology and management of micronutrients in forest trees in Australasia. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP ON PRODUCTIVITY IN PERPETUITY. *Proceedings*. Canberra, CSIRO, 1981. p.93-103.
- HOCKMAN, J.N.; BURGER, J.A.; SMITH, D. W. Spatial and temporal variability of foliar nutrient levels in Fraser fir Christmas trees. *Forest Science*, Washington, **35**: 632-9, 1989.
- JORGENSEN, J.R.; WELLS, C.G.; METZ, L.J. The nutrient cycle key to continuous forest product. *Journal of Forestry*, Washington, **73**: 400-3, 1975.
- KRAMER, P.J. & KOZLOWISKI, T.T. *Physiology of woody plants*. New York, Academic Press, 1979. 811p.
- LAMB, D. Variations in the foliar concentrations of macro and micro elements in a fast-growing tropical eucalypt. *Plant and Soil*, The Hague, **45**: 477-92, 1976.
- LAMBERT, M.J. & TURNER, J. Interpretation of nutrient concentrations in *Pinus radiata* foliage at Belanglo state forest. *Plant and Soil*, The Hague, **108**: 237-44, 1988.
- LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. Barcelona, Omega, 1977. 305p.
- LAVENDER, D.P. Foliar analysis and how it is used: a review. Corvallis, Oregon State University, 1970. 8p. (OSU. Research Note, 52).

- LEAF, A.L. Plant analysis as an aid in fertilizing forests. In: WALSH, L.M. & BEATON, J.D. eds. *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Science Society of America Inc., 1973. cap. 25, p.427-54.
- LEYTON, L. Mineral nutrient relationships of forest trees. *Forestry Abstracts*, Oxford, 9: 399, 1948.
- LONERAGAN, J.F.; SNOWBALL, K.; ROBSON, A.D. Remobilization of nutrients and its significance in plant nutrition. In: WARDLAW, I.F. & PASSIOURA, J.B. eds. *Transport and transfer processes in plants*. New York, Academic Press, 1976. p.463-9.
- LUTZ, H.J. & CHANDLER, R.F., Jr. *Forest soils*. New York, John Wiley, 1947. 514p.
- MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba, M. Roesner, 1968. 350p.
- MACHADO, S.A. Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. plantations in the State of Paraná - Brazil. Washington, 1978. 170p. (PhD - University of Washington).
- MADGWICK, H.A.I. Nutrition research: some problems of the total tree approach. *Proceedings of Soil Science Society of America*, Madison, 27: 598-600, 1963.
- _____. Variations in the chemical composition of red pine leaves: a comparison of well-grown and poorly grown trees. *Forestry*, London, 37: 87-94, 1964.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Ceres, 1980. 254p.
- _____. & MALAVOLTA, M.L. Diagnose foliar: princípios e aplicações. In: BULL, L.T. & ROSOLEN, C.A. eds. *Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação*. Botucatu, FEPAF, 1989. p.227-308.
- _____.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba, POTAFOS, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. Diagnosis of deficiency and toxicity of mineral nutrients. In: *Mineral nutrition of higher plants*. London, Academic Press, 1966. cap. 12, p.391-407.

- MEAD, D.J. Diagnosis of nutrient deficiencies in plantations. In: BOWEN, G.D. & NAMBIAR, E.K.S. eds. *Nutrition of plantation forests*. London, Academic Press, 1984. cap.10, p.259-91.
- _____. & PRITCHETT, W.L. Variation of N, P, K, Ca, Mg, Mn, Zn, and Al in slash pine foliage. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, New York, 5: 291-301, 1974.
- _____. & WILL, G.M. Seasonal and between-tree variation in the nutrient levels in *Pinus radiata* foliage. *New Zealand Journal of Forestry Science*, Rotorua, 6: 3-13, 1976.
- MILLER, H.G. Nutrient cycles in forest plantations, their changes with ages and consequence for fertilizer practice. In: AUSTRALIAN FOREST NUTRITION WORKSHOP ON PRODUCTIVITY IN PERPETUITY. *Proceedings*. Canberra, CSIRO, 1981. p.187-200.
- MILLER, W.F. Annual changes in foliar nitrogen, phosphorus, and potassium levels of loblolly pine (*Pinus taeda* L.) with site, and weather factors. *Plant and Soil*, The Hague, 24: 369-78, 1966.
- MOORBY, J. & BESFORD, R.T. Mineral nutrition and growth. In: LAUHLI, A. & BIELESKI, R.L. eds. *Inorganic plant nutrition*. Berlin, Springer-Verlag, 1983. cap. IV.2, p.481-527. (Encyclopedia of plant physiology; new series, v.15B).
- MORAIS, E.J.; BARROS, N.F. de; NOVAIS, R.F. de; BRANDI, R.M. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 14: 353-62, 1990.
- MORRISON, I.K. Mineral nutrition of conifers with special reference to nutrient status interpretation: a review of the literature. Ottawa, Canadian Forest Service, 1974. (Canadian Forest Service Publ., 1343).
- PAYN, T.W. & CLOUGH, M.E. Seasonal variation of foliar concentrations in *Pinus radiata* in the Southern Cape. *South African Forestry Journal*, Pretoria, (143): 37-41, 1987.
- PINHEIRO, G.S. Estimativa do peso de copas de *Pinus caribaea* Morelet variedade *hondurensis* Barr. et Golf. e *Pinus oocarpa* Schiede, através de parâmetros dendrométricos. Curitiba, 1980. 105p. (Mestrado - Universidade Federal do Paraná).

- RAIJ, B. van & QUAGGIO, J.A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. Campinas, Instituto Agrônomo, 1983. 31p. (Boletim Técnico, 81).
- _____. Interpretação da análise de solos e de plantas. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO. Machado-MG, 7 a 10 de junho de 1988. cap. 4, p.51-80.
- _____. Avaliação do estado nutricional das plantas. In: *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo; Piracicaba, Ceres; POTAFOS, 1991a. cap. 7, p.117-36.
- _____. Avaliação da fertilidade do solo. In: *Fertilidade do solo e adubação*. São Paulo; Piracicaba, Ceres; POTAFOS, 1991b. cap. 6, p.89-115.
- RAUPACH, M. Soil and fertilizer requirements for forests of *Pinus radiata*. *Advances in Agronomy*, New York, 19: 307-53, 1967.
- REISSMANN, C.B. Nährelementversorgung und Wuchseleistung von Kiefernbeständen in Südbrasilien. Freiburg, 1981. 159p. (PhD - Albert-Ludwigs-Universität).
- _____. & ZÖTTL, H.W. Problemas nutricionais em povoamento de *Pinus taeda* em áreas do arenito da formação Rio Bonito - Grupo Guatá. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, 9 (1/2): 75-80, 1987.
- SANDS, R. & MULLIGAN, D.R. Water and nutrient dynamics and tree growth. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, 30: 91-111, 1990.
- SAS. SAS/STAT Guide for personal computers. 6ed. Cary, N.C., 1987. 1028p.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análise química em plantas. Piracicaba, ESALQ/USP, 1974. 56p.
- SCHÖNAU, A.P.G. Seasonal changes in foliar nutrient content of *Eucalyptus grandis*. *South African Forestry Journal*, Pretoria, (119): 1-4, 1981.
- SHEPPARD, L.J. & CANNELL, M.G.R. Nutrient use efficiency of clones of *Picea sitchensis* and *Pinus contorta*. *Silvae Genetica*, Frankfurt, 34: 126-32, 1985.
- SMITH, P.F. Mineral analysis of plant tissues. *Annual Review of Plant Physiology*, New York, 13: 81-108, 1962.

- SMITH, W.H.; SWITZER, G.L. & NELSON, L.E. Development of the shoot system of young loblolly pine: I. Apical growth and nitrogen concentration. *Forest Science*, Washington, **16**: 483-90, 1970.
- SNOWDON, P. & WARING, H.D. Between-tree and between-plot variations of nutrient levels in *Pinus radiata* foliage and their implications for sampling intensity. *Australian Forest Research*, Melbourne, **13**: 45-56, 1982.
- SWITZER, G.L. & NELSON, L.E. Nutrient accumulation and cycling in loblolly pine. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, **36**: 143-7, 1972.
- TAMM, C.O. Studies in forest nutrition. I. Seasonal variation in the nutrient content of conifer needles. *Medd. Skogsforskn-Institute Stockh.*, **45** (5/6): 1-34, 1955.
- _____. Nutrient requirements of forest stands. *International Review of Forest Research*, **1**: 115-70, 1964.
- TRANI, P.E.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C. *Análise Foliar: Amostragem e Interpretação*. Campinas, Fundação Cargill, 1983. 18p.
- VALERI, S.V. Exportação de biomassa e nutrientes de povoamentos de *Pinus taeda* L. desbastados em diferentes idades. Curitiba, 1988. 164p. (Doutorado - Universidade Federal do Paraná).
- VAN DEN BURG, J. Problems related to analysis of forest soil fertility. In: IUFRO WORLD CONGRESS - Division I, XVI. *Proceedings*, 1976. p.148-65.
- VAN DEN DRIESCHE, R. Prediction of mineral status of trees by foliar analysis. *The Botanical Review*, New York, **40**: 347-94, 1974.
- VAN GOOR, C.P. Reflorestamento com coníferas no Brasil. Aspectos ecológicos dos plantios na Região Sul, particularmente com *Pinus elliottii* e *Araucaria angustifolia*. Ministério da Agricultura D.R.N.R., Divisão de Silvicultura, Seção de Pesquisas Florestais, 1965. (Boletim, 9).
- VELASCO, F. & ALBAREDA, J.M. Estado nutritivo de diversas repoblaciones forestales de coníferas en la España semiarida. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 6. *Proceedings*, v.II. Madrid, 1966. p.1477-83.

- VETTORAZZO, S.C. Efeito de fatores do solo e de genótipos no crescimento, nutrição e atividade da fosfatase ácida em clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Piracicaba, 1989. 115p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- WALKER, L.C. Foliar analysis as a method of indicating potassium deficient soils for reforestation. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 19: 233-6, 1965.
- WALLACE, I.M.; DELL, B.; LONERAGAN, J.F. Zinc nutrition of jarrah (*Eucalyptus marginata* Donn ex Smith) seedlings. *Australian Journal of Botany*, Melbourne, 34: 41-51, 1986.
- WEETMAN, G.F. & WELLS, C.G. Plant analysis as an aid in fertilizing forests. In: WESTERMAN, R.L. *Soil testing and plant analysis*. 3ed. Madison, Soil Science Society of America, 1990. cap. 25, p.659-90. (SSSA. Book Series, 3).
- WELLS, C.G. & METZ, L.J. Variation in nutrient content of loblolly pine needles with season, age, soil, and position on the crown. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 27: 90-3, 1963.
- WHITE, D.P. Variation in the nitrogen, phosphorus, and potassium contents of pine needles with season, crown position, and sample treatment. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 18: 326-30, 1954.
- WILL, G.M. Variations in the mineral content of radiata pine needles with age and position in tree crown. *New Zealand Journal of Science and Technology*, Rotorua, 38: 699-706, 1957.
- YOUNG, H.E. & CARPENTER, P.N. Sampling variation of nutrient element content within and between trees of the same species. In: IUFRO OSLO BIOMASS STUDIES. Orono, University of Maine, 1976. p.75-99.
- ZÖTTL, H.W. Estado nutritivo y crecimiento des plantaciones de *Pinus* en España. In: WORLD FORESTRY CONGRESS, 6. *Proceedings*, v.II. Madrid, 1966. p.2606-11.
- _____. Diagnosis of nutritional disturbances in forest stands. In: FAO/IUFRO INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FOREST FERTILIZATION. Paris, Ministère de l'Agriculture, 1973. p.75-95.