

MARIA DE FÁTIMA DOS SANTOS LOURENÇO

**CARACTERÍSTICAS LIMITANTES DO SOLO NO
CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* Maiden,
EM UMA TOPOSEQUÊNCIA NA REGIÃO
DE TRÊS BARRAS (SC)**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Arthur Santos Filho

CURITIBA
1996

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

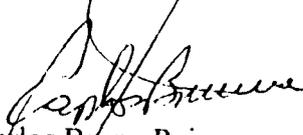
P A R E C E R

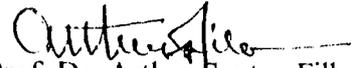
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **MARIA DE FATIMA DOS SANTOS LOURENÇO**, sob o título "**CARACTERÍSTICAS LIMITANTES DO SOLO NO CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* EM UMA TOPOSEQUÊNCIA NA REGIÃO DE TRÊS BARRAS (SC)**", para obtenção do grau de **Mestre** em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **SILVICULTURA**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidata são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com média final: (*8,7*), correspondente ao conceito: (*A*).

Curitiba, 15 de março de 1996


Pesq. M.Sc. Helton Damim da Silva
Primeiro Examinador
EMBRAPA


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann
Segundo Examinador
UFPR


Prof. Dr. Arthur Santos Filho
Orientador e Presidente da Banca
UFPR



Dedico
a Deus e
aos meus pais

AGRADECIMENTOS

Ao prof. Arthur Santos Filho pela orientação concedida.

Ao prof. Carlos Bruno Reissmann pela importante contribuição na elaboração deste trabalho.

Ao prof. Ronald Viana Soares pela colaboração na análise estatística.

Aos professores Sebastião Amaral Machado e Afonso Figueiredo Filho pelas sugestões apresentadas neste trabalho.

Ao Engenheiro Florestal Orlando Sarnowski Filho pelo auxílio no levantamento dendrométrico.

À Rigesa - Papel e Embalagem de Santa Catarina pela concessão do povoamento para a coleta do material.

Ao Engenheiro Agrônomo Ricardo Paim pelas informações sobre o povoamento utilizado neste estudo

Aos laboratoristas Aldair e Hair do departamento de solos na realização das análises de solo.

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realização do curso e à CAPES pelo auxílio financeiro.

Aos professores, Colegas, Funcionários que direta ou indiretamente colaboraram na execução deste trabalho.

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| LISTA DE TABELAS | vi |
| LISTA DE FIGURAS | viii |
| RESUMO..... | x |
| ABSTRACT | xi |
| 1 INTRODUÇÃO..... | 1 |
| 2 REVISÃO DE LITERATURA..... | 4 |
| 2.1 OCORRÊNCIA NATURAL DO <i>Eucalyptus dunnii</i> | 4 |
| 2.1.1 Situação geográfica, clima e solo | 4 |
| 2.2 CRESCIMENTO EM POVOAMENTOS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> | 5 |
| 2.3 CONDIÇÕES EDÁFICAS EM RELAÇÃO ÀS ESPÉCIES FLORESTAIS | 7 |
| 2.3.1 Propriedades físicas e morfológicas dos solos em relação às espécies florestais | 8 |
| 2.3.2 Propriedades químicas dos solos em relação às espécies florestais | 13 |
| 2.3.2.1 Métodos químicos utilizados em análise química do solo..... | 24 |
| 2.4 AVALIAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS COM O CRESCIMENTO DE ESPÉCIES..... | 26 |
| 3 MATERIAL E MÉTODOS..... | 31 |
| 3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EM ESTUDO | 31 |
| 3.1.1 Localização do povoamento..... | 31 |
| 3.1.2 Características do meio físico..... | 32 |
| 3.2 COLETA DE DADOS | 33 |
| 3.3 AMOSTRAGEM DOS SOLOS | 35 |

| | |
|---|-----|
| 3.4 ANÁLISE DOS SOLOS..... | 35 |
| 3.4.1 Preparo das amostras..... | 35 |
| 3.4.2 Análise Física | 36 |
| 3.4.3 Análise Química | 36 |
| 3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA..... | 38 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 40 |
| 4.1 CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA ÁREA EM ESTUDO E A ÁREA DE ORIGEM DO <i>Eucalyptus dunnii</i> | 40 |
| 4.2 CRESCIMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> na topossequência estudada | 42 |
| 4.3 RELAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS QUÍMICOS UTILIZADOS NA EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS SOLOS ESTUDADOS | 44 |
| 4.4 RELAÇÕES ENTRE O CRESCIMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E AS PROPRIEDADES QUÍMICAS DOS SOLOS ESTUDADOS..... | 83 |
| 4.5 RELAÇÕES ENTRE O CRESCIMENTO DE <i>Eucalyptus dunnii</i> E AS PROPRIEDADES FÍSICAS E MORFOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS..... | 98 |
| 5 CONCLUSÕES | 106 |
| APÊNDICE | 107 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 134 |

LISTA DE TABELAS

TABELA

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Valores médios de altura dominante (h) e diâmetro dominante (d) das parcelas correspondentes aos perfis estudados de <i>Eucalyptus dunnii</i> | 42 |
| 2 | Valores médios de fósforo, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 44 |
| 3 | Amplitude de variação do fósforo em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química | 45 |
| 4 | Valores médios de potássio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 50 |
| 5 | Amplitude de variação do potássio em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química | 51 |
| 6 | Valores médios de cálcio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 55 |
| 7 | Amplitude de variação do cálcio em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química | 56 |
| 8 | Valores médios de magnésio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 58 |
| 9 | Amplitude de variação do magnésio em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química | 59 |
| 10 | Valores médios de ferro, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 62 |
| 11 | Amplitude de variação do ferro em profundidade, nos perfis estudados sob os diferentes métodos de análise química | 63 |
| 12 | Valores médios de manganês, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 65 |

| | | |
|----|--|-----|
| 13 | Amplitude de variação do manganês em profundidade, nos perfis estudados sob os diferentes métodos de análise química | 66 |
| 14 | Valores médios de zinco, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 69 |
| 15 | Amplitude de variação do zinco em profundidade, nos perfis estudados sob os diferentes métodos de análise química..... | 71 |
| 16 | Valores médios de cobre, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 73 |
| 17 | Amplitude de variação do cobre em profundidade, nos perfis estudados sob os diferentes métodos de análise química..... | 74 |
| 18 | Valores médios de alumínio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm | 76 |
| 19 | Amplitude de variação do alumínio em profundidade, nos perfis estudados sob os diferentes métodos de análise química..... | 78 |
| 20 | Valores médios de nitrogênio e carbono para a profundidade de 20 cm..... | 79 |
| 21 | Valores médios de pH medidos em água, SMP e CaCl ₂ para a profundidade de 20 cm..... | 81 |
| 22 | Coeficientes de correlação linear entre as variáveis de crescimento (h) altura dominante e (d) diâmetro dominante de <i>Eucalyptus dunnii</i> e elementos químicos dos solos estudados, segundo os métodos de análise utilizados para a profundidade de 0-20 cm..... | 83 |
| 23 | Correlação linear simples entre as variáveis de crescimento e algumas características químicas do solo para a profundidade de 20 cm..... | 96 |
| 24 | Valores médios de análise granulométrica por perfil para a profundidade de 20 cm | 102 |
| 25 | Correlação linear simples entre as variáveis de crescimento e as frações granulométricas para a profundidade 0-20 cm nos perfis estudados... | 104 |

LISTA DE FIGURAS

FIGURA

| | | |
|----|--|-----|
| 1 | Localização da topossequência dentro do talhão Ilha do Tokarski..... | 31 |
| 2 | Localização dos perfis na topossequência | 34 |
| 3 | Relações entre o cálcio extraído com ácido clorídrico e o teor total de cálcio no solo, na profundidade de 0-20 cm | 55 |
| 4 | Relações entre o manganês extraído com ácido clorídrico e o teor total de manganês no solo, na profundidade de 0-20 cm | 67 |
| 5 | Relações entre o alumínio extraído sob análise de rotina (acetato de cálcio) e o teor total de alumínio no solo na profundidade de 0-20 cm.. | 77 |
| 6 | Relações do teor de fósforo extraído sob análise de rotina (extrator de Mehlich) com o diâmetro dominante (1) e altura dominante (2) na profundidade de 0-20 cm para os perfis estudados | 84 |
| 7 | Relações do teor de cálcio extraído sob análise com ácido cítrico com o diâmetro dominante (1) e altura dominante (2) na profundidade de 0-20 cm para os perfis estudados..... | 89 |
| 8 | Relações do teor de ferro sob análise com ácido cítrico e a variável altura dominante na profundidade de 0-20 cm nos perfis estudados ... | 91 |
| 9 | Relações do teor de cobre sob extração com ácido cítrico e o diâmetro dominante (1) e altura dominante (2) na profundidade de 0-20 cm nos solos estudados | 92 |
| 10 | Relações entre o teor de manganês extraído com ácido cítrico com diâmetro dominante na profundidade de 0-20 cm nos perfis estudados..... | 93 |
| 11 | Distribuição das árvores na topossequência e espessura do horizonte A | 100 |

| | | |
|----|---|-----|
| 12 | Relações da espessura do horizonte A com o diâmetro dominante dos perfis estudados | 101 |
| 13 | Relações entre as frações granulométricas do solo com o diâmetro dominante (1) e altura dominante (2) para a profundidade de 0-20 cm nos solos estudados..... | 104 |

RESUMO

O estudo foi realizado no município de Mafra, Santa Catarina, em uma toposequência e teve como finalidade avaliar a eficiência de métodos químicos de extração de teor de nutrientes do solo e a influência das características químicas, físicas e morfológicas do solo no crescimento de *Eucalyptus dunnii*, em povoamento implantado em 1988 e na época de medição com sete anos de idade. Foram medidas as variáveis altura e diâmetro dominantes de quatro parcelas instaladas ao longo da toposequência, sendo uma parcela superior, duas intermediárias e uma inferior, com área de 500 m² (25 x 20 m) cada parcela, nas quais foram abertas trincheiras para a descrição morfológica dos perfis e para análise por horizonte e na profundidade de 0-20 cm, em relação às características físicas e químicas. Os teores de nutrientes no solo foram analisados por meio de quatro métodos de análise química - ácido cítrico 1%, ácido clorídrico (HCl 10%), análise de rotina (empregada no laboratório de solos) e digestão total (HF-HClO₄). Foram obtidas correlações entre a digestão total dos nutrientes com as extrações realizadas. As variáveis de crescimento foram relacionadas com as características químicas do solo. Realizou-se também correlação das variáveis de crescimento com a espessura do horizonte A e a textura do solo. A análise estatística utilizada foi o delineamento inteiramente casualizado, coeficiente correlação linear simples e análise de regressão. A análise de variância foi realizada entre as variáveis dependentes e independentes até a profundidade de 0-20 cm. Como variáveis dependentes utilizaram-se a altura e o diâmetro dominantes e como variáveis independentes considerou-se as características do solo, as quais foram relacionadas ao crescimento de *Eucalyptus dunnii*, utilizando-se correlação linear simples e análise de regressão. Constatou-se que não foi interessante o uso de um único extrator químico para todos os nutrientes do solo e a extração com ácido clorídrico foi a que obteve melhores correlações com o teor total de nutrientes no solo. O melhor crescimento do *Eucalyptus dunnii* foi observado em Latossolo Vermelho Amarelo no qual a altura média dominante das parcelas medidas alcançou 25 m, diferindo consideravelmente do perfil 4 em Cambissolo que apresentou altura dominante média de 14 m. De maneira geral, os resultados demonstram melhor crescimento do *Eucalyptus dunnii* em Latossolo, pelas melhores condições físicas e morfológicas deste solo, como: estrutura, drenagem, textura do solo e espessura do horizonte A. Quanto ao aspecto químico observou-se que os teores disponíveis de cálcio, manganês e cobre podem estar limitando o crescimento e os teores de ferro e alumínio podem estar influenciando negativamente o crescimento de *Eucalyptus dunnii*. Em relação aos elementos químicos potássio, magnésio e fósforo não foi possível obter correlação significativa dos teores encontrados com o crescimento da espécie, no entanto, foi possível observar que os perfis que contiveram os maiores teores desses elementos, apresentaram o melhor crescimento.

ABSTRACT

The present study was conducted at the Mafra country, Santa Catarina, in the toposequence and its objective was to investigate the efficiency of the chemical method carried out on the soil nutrient contents and the influence of chemical, physical and morphological soil variables on the growth of the *Eucalyptus dunnii*, established in 1988 and with seven years old when measured. The dominant height and diameter of tree were evaluated from the four plots set up in the toposequence, one upper, two intermediary and one lower. The plot area were 500 m² (25 x 20 m). It was made the morphological description of the profiles and wet assay through horizons and superficial samples of 0-20 cm. The soil nutrients contents were analyzed through four chemical methods: 1% citrous acid, HCl 10%, routine analysis (using in the soils laboratory) and total determinations with HF-HClO₄. The thickness of the horizon A and soil texture were also related with growth variables. The statistical analysis was computed using the casual delineation, linear correlation coefficients and regression analysis. The variance analysis was computed for dependent and independent variables to the depth 0-20 cm. As dependent variables, dominant height and diameter and as independent variables, the soil characteristics were considered. The soil characteristics were related to the growth of the *Eucalyptus dunnii*, using linear simple correlation and regression analysis. The use of only one chemical extractions to determine the nutrient contents in the soil, was not interesting. The HCl 10% extraction showed better correlacion coeficientes with soil total nutrient contents. The best growth of the *Eucalyptus dunnii* was observed on Red Yellow Latosol, where the mean dominant height was 25 m in the three profiles. This result differs from the growth of the upper profile, on Cambisol where dominant height was 14 m. In a general way, the result demonstrated a better growth of *Eucalyptus dunnii* on Red Yellow Latosol, for the favorable morphological and physical conditions of the soil such as: structure, drainage, soil texture and horizon A thickness. In the chemical aspect the macronutrients, manganese and copper smaller contents can be limiting the *Eucalyptus dunnii* growth. Iron and aluminium can be influencing negatively the growth.

1 INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de produção de madeira para atender a demanda de mercado brasileiro faz com que se utilize cada vez mais espécies exóticas. Isto decorre pelo fato de apresentarem normalmente crescimento mais rápido que as espécies nativas e também devido ao grande número de informações existentes com espécies exóticas, principalmente na Região Sul e Sudeste do Brasil, facilitando assim a sua utilização. Dentre as espécies exóticas utilizadas nos programas de reflorestamento, destaca-se o gênero *Eucalyptus*. Este gênero na área de ocorrência natural possui mais de 600 espécies. Em função da plasticidade do gênero *Eucalyptus*, a adaptação a vários tipos de solos e clima, aumentam as possibilidades de aproveitamento das espécies do gênero. No entanto, ao mesmo tempo que possui caráter facilitador, pode dificultar o conhecimento das exigências nutricionais das espécies, pois estas variam de espécie para espécie, assim como de indivíduo para indivíduo.

Normalmente as características edafoclimáticas das áreas que se dispõem para o plantio de eucalipto diferem das características do local de origem. Essas condições nem sempre são favoráveis, refletindo em um crescimento abaixo do esperado. Dessa forma o aproveitamento dos recursos naturais através do conhecimento das propriedades edáficas de uma determinada região, poderá colaborar no sucesso do reflorestamento. Na busca do conhecimento das

propriedades tanto físicas como químicas do solo, muitas técnicas de avaliação dos teores de nutrientes nos solos, têm sido desenvolvidas, porém nem todas conseguem produzir o resultado esperado, pois o solo está em constante transformação, sujeito às condições climáticas, como as estações do ano, condições de seca que modificam a disponibilidade de nutrientes para as raízes das árvores, tornando-os muitas vezes difícil de os avaliar.

No mesmo grau de importância está o conhecimento da espécie em seu local de origem, a fim de obter informações como por exemplo, as áreas (latitude e longitude) que normalmente se encontram a espécie, se ocorre em áreas sujeitas a inundações, tipos de solos geralmente encontrada e nutrientes exigidos pela espécie para um melhor crescimento. Enfim, uma série de dados que encaminham para a seleção de uma determinada espécie e que melhor se adaptariam à áreas que não sejam a de ocorrência natural. Esse conhecimento permitirá então, melhor aproveitamento do potencial produtivo da espécie a ser utilizada.

Dessa forma a interação solo-planta determinará a adaptação e o crescimento da espécie. O conhecimento prévio dessa interação, poderá contribuir para aumentar a produtividade de uma espécie, além de permitir o uso racional do solo, evitando sua rápida exaustão química e a degradação de suas propriedades. Este conhecimento pode ser obtido através do planejamento e a utilização de técnicas adequadas de manejo, permitindo avaliar o maior ou menor

grau de adequabilidade do solo, resultando em uma relação custo-benefício mais favorável.

Com o intuito de realizar investigações sobre a influência das características físicas, químicas e morfológicas do solo para a espécie em estudo -*Eucalyptus dunnii* e identificando condições que melhorem o crescimento e consequentemente a produtividade, o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

- identificar as propriedades físicas, químicas ou morfológicas que influem no crescimento de *Eucalyptus dunnii*
- comparar a extração dos elementos químicos do solo sob diferentes métodos de extração com os elementos totais no solo;
- comparar o crescimento de *Eucalyptus dunnii* em uma toposeqüência

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 OCORRÊNCIA NATURAL DO *Eucalyptus dunnii*

2.1.1 Situação geográfica, clima e solo

A região de ocorrência natural desta espécie, na Austrália, conforme EMBRAPA (1988), restringe-se à pequenas áreas no nordeste de Nova Gales do Sul e no sudeste de Queensland. As latitudes variam de 28° a 30°15' S e as altitudes de 300 a 780 metros, aproximadamente. O clima é subtropical úmido e com temperatura média das máximas do mês mais quente entre 27° a 30° e com a média das mínimas do mês mais frio entre 0 e 3°C, ocorrendo de 20 a 60 geadas por ano. A precipitação média é de 1000 a 1750mm, com as máximas no verão, a precipitação mensal é sempre superior a 40 mm. A estação seca, no inverno, não excede a três meses.

O *Eucalyptus dunnii* na região de origem, ocorre principalmente em solos úmidos, férteis, principalmente de origem basáltica, vegeta também em solos de origem sedimentar, principalmente naqueles bem drenados. Na Austrália seu crescimento é considerado um dos mais rápidos entre as espécies de *Eucalyptus* (EMBRAPA,1988).

Conforme BARROS et al (1990a) o *E. dunnii* pode ocorrer ainda em partes baixas, fendas de vales e nas encostas e topos de solos basálticos. Esses solos são de modo geral, profundos e bem drenados e suportam uma vegetação do tipo pluvial, isto é, diversificada, densa e com vigoroso sub-bosque. Salienta ainda que ecótipos desta espécie correspondentes a áreas sujeitas à geadas podem apresentar maior exigências de nutrientes como o potássio, para manter um maior potencial osmótico interno.

2.2 CRESCIMENTO EM POVOAMENTOS DE *Eucalyptus dunnii*

De acordo com LIMA (1987) a maioria das espécies de eucaliptos na Austrália, são árvores típicas de florestas altas atingindo altura de 30 a 50 metros, e outras árvores menores atingindo altura de 10 a 25 metros. Cerca de 30 a 40 espécies são arbustivas. Algumas árvores atingem alturas superiores a 70 metros, como o *Eucalyptus diversicolor*, na Austrália Ocidental. Árvores centenárias de *Eucalyptus regnans*, em Victoria, podem atingir até 100 metros de altura.

Segundo dados da FAO (1981), o *E. dunnii* na Austrália, atinge altura de 40 a 50 metros, e é considerada uma das espécies do gênero *Eucalyptus* de crescimento mais rápido e tolerante ao frio.

No Brasil os plantios comerciais com *E. dunnii*, conforme EMBRAPA (1986), são limitados pela baixa produção de sementes. Como a importação de

sementes em grande escala é muito difícil, os plantios ficam condicionados à disponibilidade de sementes ou de mudas obtidas através de propagação vegetativa. Neste aspecto GRAÇA (1987) analisando diferentes populações de *E. dunnii* no Brasil observou que as maiores percentagens de florescimento ocorreram em latitudes próximas da área de ocorrência natural desta espécie. Constatou também que há necessidade de uma temperatura mínima para a iniciação do florescimento dessa espécie.

No sul do Brasil, o *E. dunnii* tem se destacado, pelo rápido crescimento, uniformidade dos talhões, forma das árvores e tolerância às geadas no inverno EMBRAPA (1988). Referiu ainda que o *E. dunnii* é indicado para plantios comerciais em todo o Estado de Santa Catarina, abaixo de 1000 metros de altitude, com cuidados em relação à geadas no planalto catarinense. Nas proximidades de Lages, a espécie tem mostrado susceptibilidade à geadas tardias, sofrendo danos graves com um ano de idade. Acrescentou ainda que a maior importância do *E. dunnii* está nos plantios em altitudes acima de 500 metros, onde o inverno é fator limitante a muitos eucaliptos.

2.3 CONDIÇÕES EDÁFICAS EM RELAÇÃO ÀS ESPÉCIES FLORESTAIS

As condições específicas do meio ambiente tem um importante papel na determinação de espécies para plantio e também desempenho da espécie selecionada. Entre as características específicas do sítio, segundo ZOBEL et al (1987), as macroclimáticas (pluviosidade, flutuações de temperatura), propriedades físicas do solo, nível de nutrientes e são importantes também as variáveis fisiográficas como altitude e profundidade do solo. É a soma dessas características que determinará o potencial de adaptação e produção de uma espécie para se tornar suficientemente produtiva.

Dessa forma PRICHETT (1979) salientou que há necessidade de separar o estudo de solos florestais, dos estudos de solos destinados ao cultivo anual de colheitas ou cobertos por gramíneas, pois os solos sob cobertura florestal e seu piso florestal fornece um microclima e um espectro de microorganismos diferentes daqueles associados com a maior parte dos demais solos. Tal diferença consiste em processo dinâmico como a ciclagem de nutrientes, formação de ácidos orgânicos e conseqüente lixiviação de bases que dão um caráter distinto para solos com cobertura florestal.

Reportou ainda, que o solo é mais que um meio para o crescimento das plantas e um provedor com o suporte físico, nutrientes e umidade. O solo é um

produto do meio ambiente e a sua qualidade é em grande parte uma função do povoamento florestal que ele suporta, e também ao mesmo tempo o maior fator do habitat que influencia no crescimento das plantas.

Para BOCKHEIM (1982) o solo é um corpo natural com características físicas, químicas e biológicas governadas pela interação de cinco fatores que formam o solo: material de origem, clima, organismos, topografia e o tempo. GOBRAN & LEGG (1996) consideraram que a interação entre solo, microorganismos e raízes cria um suporte mútuo, um sistema no qual tem importantes implicações para a disponibilidade e suprimento de nutrientes dos horizontes minerais em solos florestais.

ZOBEL et al (1987) ressaltaram que um dos principais efeitos prejudiciais nas propriedades do solo, para cultura de árvores exóticas, em sistemas de reflorestamentos, onde se busca principalmente a produtividade, ocorre durante a fase de estabelecimento do plantio, como a preparação do sítio que normalmente empregadas favorecem a compactação e a erosão.

2.3.1 Propriedades físicas e morfológicas dos solos em relação às espécies florestais

As propriedades físicas e morfológicas do solo estão menos sujeitas à degradação quando o solo é mantido sob floresta, segundo COSTA (1990), principalmente quando a espécie utilizada para reflorestamento já promoveu a cobertura do solo.

Entre as propriedades do solo que afetam diretamente a sobrevivência e o crescimento das árvores, PRICHETT (1979) ressaltou que as propriedades do solo como a estrutura, cor, textura e a água do solo têm sido longamente consideradas de importância primária para a produtividade do sítio e mais recentemente as propriedades químicas têm sido consideradas. LETEY (1985) relacionou como fatores diretos que influem no crescimento da planta, a água, o oxigênio, a temperatura e resistência mecânica e como fatores indiretos citou a densidade, a textura, os agregados e sua estabilidade e tamanho e distribuição dos poros.

COOK (1962) citou a topografia como uma das mais importantes propriedades físicas do meio, pois interfere diretamente nas propriedades do solo, influenciando no escoamento superficial de água, na infiltração e na evaporação, importantes para o manejo das plantas.

SANTOS FILHO e ROCHA (1987) estudando *Pinus taeda* em diversas classes de e posicionamento dos solos na paisagem, observaram que a maior disponibilidade de água parece ser um dos fatores limitantes importantes relacionados ao desenvolvimento da espécie. GONÇALVES (1988) relatou que para pequenas regiões onde somente pequenos efeitos micro-climáticos ocorrem, as variáveis topográficas e pedológicas explicam melhor as variações de crescimento das árvores. Acrescentou ainda que a topografia é uma propriedade física relacionada com o risco de erosão e emprego da mecanização.

De acordo com CHAMPION e BRASNETT¹ (1958) citados por ZOBEL (1987), a profundidade do solo, permeabilidade da água, aeração, a natureza do subsolo, condições de húmus são fatores muito importantes que deveriam ser considerados para a execução de um reflorestamento, principalmente com espécies exóticas .

Em relação à textura do solo COOK (1962) relatou que em alguns solos com maior proporção de partículas finas pode haver a contração e expansão conforme o teor de umidade e quando a infiltração é afetada a estrutura do solo é desse modo alterada e solos secos podem fragmentar-se com rapidez e romper o sistema radicular.

BOCKHEIM (1982) e GONÇALVES (1988) acrescentaram que a textura é um importante constituinte do solo, tem grandes implicações na manifestação da fertilidade do solo, pois influencia a estrutura e aeração, retenção de água e drenagem, nutrientes, reações de troca entre o sistema radicular e o complexo coloidal do solo, além de favorecer ou não a penetração das raízes.

ZOBEL et al (1987) observaram que todas as árvores, incluindo as exóticas, crescem melhor em solos de textura moderada, com mais de 30% de silte e 10 a 35% de argila. Acrescentaram que os solos argilosos podem ser mais férteis que solos arenosos, porém, às vezes apresentam drenagem insuficiente.

¹ CHAMPION, H. & BRASNETT, N.V. Choise of tree species. FAC.For. Develop. Paper n° 13, Rome, 307p.

Para RALSTON¹ (1964) citado por GONÇALVES et al (1990) o acréscimo de partículas finas é favorável até um ponto que não comprometam a aeração do solo, pois, o aumento de teor de silte e argila favorecem o crescimento das árvores devido a um suprimento mais favorável de água e nutrientes.

Outra propriedade morfológica do solo importante para o crescimento das plantas é a profundidade, citada por BOCKHEIM (1982) que estabeleceu diferenças entre os cultivos, onde nas culturas agrícolas as raízes necessitam de uma profundidade em torno de 0,5 a 2,5 metros e as raízes de árvores necessitam para seu crescimento explorar também profundidades maiores de 5 a 7 metros. Esta distinção torna-se importante porque as raízes de árvores são capazes de obter água e nutrientes à profundidades maiores dentro do solo.

Para MARSCH² (1978) citado por ZOBEL et al (1987) solos pouco profundos seriam aceitáveis somente se ocorresse uma distribuição regular de chuvas. O solo então, deveria ter suficiente quantidade de macro e microporos para garantir boa, mas não excessiva drenagem e aeração.

A importância da profundidade efetiva no potencial de crescimento das plantas foi também salientada por GONÇALVES et al (1990), principalmente nas áreas em que os solos apresentam balanços hídricos com elevadas deficiências hídricas.

¹ RALSTON, C. W. Evaluation of forest site productivity. In: INTERNACIONAL REVIEW OF FOREST RESEARCH, New York, 1964. Proceedings. New York, Academic Press, 1964. v.1, p. 171-201.

² MARSCH, E.R. The Cultivaton and Management of commercial Pine plantations in South Africa. Dept. For., Bull, 56, Pretoria, South Africa, 146p.

CARMO et al (1990) mencionaram que o desenvolvimento do eucalipto pode ser limitado drasticamente em solos em que a profundidade da camada superficial existente no solo é insuficiente para o crescimento das raízes, mesmo em regiões com pluviometria satisfatória, pois é a partir da camada superficial do solo que se inicia o processo de secagem, ambiente instável, onde se encontram a maioria das raízes.

É também na camada superficial segundo GONÇALVES et al (1990) que se apresentam propriedades físicas e químicas mais relacionadas com a qualidade do sítio, portanto sendo as mais indicadas para serem amostradas e analisadas para fins de avaliação de fertilidade do solo, notadamente até 20 cm de profundidade.

Em geral as condições físicas e morfológicas dos solos são mais citadas do que as propriedades químicas ou de fertilidade para o crescimento do eucalipto. Este é um conceito de aplicação geral para os eucaliptos, segundo COZZO (1955), pois os eucaliptos preferem terrenos profundos, bem drenados e de média textura. Os solos argilosos, estão em segundo lugar, em relação aos solos de textura média. Salientando que somente algumas espécies suportam o excesso de acúmulo de água no solo, como por exemplo, *Eucalyptus camadulensis* e *Eucalyptus occidentalis* que na Austrália toleram inundações periódicas de rios.

Os solos mal drenados ou inundados não são aptos para a maioria dos eucaliptos conforme FAO (1981). Para plantio nos terrenos que sofrem inundações periódicas faz-se necessário o conhecimento de espécies que tolerem estas

inundações e quanto à salinidade referiu que poucos eucaliptos toleram uma elevada salinidade do solo e solos com elevado pH e apreciável quantidade de cálcio livre não são aptos para muitas espécies de eucaliptos.

A maioria das espécies de eucaliptos reagem bem quando plantadas em solos profundos de média fertilidade e com boa textura e estrutura. O nível aceitável de fertilidade é inferior ao exigido para a agricultura e superior ao requerido para *Pinus spp* (FAO, 1981).

Conforme EMBRAPA (1988) o *E. dunnii* deve ser plantado preferencialmente em solos mais férteis.

2.3.2 Propriedades químicas dos solos em relação às espécies florestais

As espécies de árvores diferem quanto às necessidades de nutrientes, e em geral a exigência está relacionada com a fertilidade do sítio, onde as espécies crescem e no qual elas se encontram adaptadas (SPURR e BARNES, 1973).

Com relação às propriedades químicas do solo o eucalipto em seu local de origem desenvolve-se em solos com pH relativamente baixo, pobres em fósforo e nitrogênio. Estes solos têm freqüentemente um elevado conteúdo de alumínio, magnésio e ferro, porém níveis baixos de cobre, zinco, molibdênio e boro (FAO, 1981). Estas condições de solo onde geralmente crescem os eucaliptos segundo MARSCHNER (1986) decorreram do fato do pH ser baixo, submetendo as plantas à toxicidade e ou deficiência de fósforo, cálcio e magnésio. O nitrogênio

é frequentemente muito baixo. A adaptação à solos minerais ácidos, está relacionada com alta tolerância ao alumínio e manganês e alta eficiência na utilização dos nutrientes minerais.

Em solos brasileiros, GONÇALVES et al (1990) determinaram que o pH, teor de matéria orgânica, teor de fósforo disponível, nitrogênio total, teor de potássio, cálcio e magnésio trocáveis em ordem decrescente, são as propriedades químicas do solo que mostram as melhores correlações com o crescimento da maioria das espécies de eucalipto.

A importância do pH para solos florestais foi salientada por BOCKHEIM (1982), porque influencia a população de microorganismos do solo, a disponibilidade de fósforo, cálcio, magnésio, microelementos e a nitrificação (oxidação biológica de amônio em nitrato).

Em relação ao teor de nutrientes e ao conteúdo de cátions trocáveis, o reflorestamento de eucalipto proporciona aumento do teor da maioria dos cátions trocáveis, segundo LIMA (1987). Quanto ao pH encontrou uma ligeira diminuição em solos reflorestados com eucaliptos quando comparados com solos sob plantações de *Quercus* sp. TEMES et al ¹(1985) citado por ZOBEL et al (1987) comparando o efeito de três espécies de árvores (*Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster* e *Quercus robur*) sobre as características químicas do solo, na Espanha,

¹ TEMES, S.B.; RODRIGUEZ, A.R.; SOTRES, D.C.; VASQUEZ, P.M.; SANTOS, A.M. Efectos ecológicos del *Eucalyptus globulus* in Galicia. Estudio comparativo con *Pinus pinaster* y *Quercus robur*. Inst. Nag de Inves. Agrarias, Madrid, 381 p.

constatarem que o conteúdo trocável de alumínio, potássio e magnésio eram maiores sob *Eucalyptus* sp.

Em relação aos elementos minerais o nitrogênio exigiu das plantas um mecanismo de adaptação, devido a sua forma e disponibilidade em solos altamente distróficos, nos quais há predominância de amônio em razão das condições para atuação das bactérias nitrificadoras serem inadequadas (BARROS et al, 1990b). Em experimento realizado por VALE et al (1982) utilizando mudas de *Eucalyptus alba* esses autores observaram que as plantas apresentaram maior eficiência em absorver amônio do que nitrato e concluíram que a superioridade da forma amoniacal para o eucalipto pode ser reflexo de uma adaptação ecológica dessa espécie a solos ácidos, nos quais ocorrem naturalmente.

A absorção preferencial de amônio pela planta representa uma grande economia de energia, uma vez que a incorporação do amônio aos esqueletos carbônicos é imediata, ao do nitrato, que tem ser reduzido pela planta, com consumo de energia antes de ser metabolizado (LOCATELLI et al, 1984).

A concentração de nitrogênio total e orgânico conforme HUANG e SCHOENAN (1996) varia significativamente com a profundidade do perfil em solos florestais, sendo maior no horizonte onde há a deposição de litter do que em horizontes minerais.

Os níveis críticos de fósforo no solo para uma espécie segundo NOVAIS et al (1982) depende do ciclo da planta. Entre outras características, o tamanho do

sistema radicular é da maior importância no processo de absorção de elementos com menor mobilidade como o fósforo, pois deverão fazer com que o nível de nutriente adequado para uma cultura de ciclo curta não seja, necessariamente adequado para outras de ciclo longo. Neste aspecto, RAIJ (1987a) constatou também que plantas que possuem crescimento muito rápido e sistema radicular pouco desenvolvido, aproveitam mal o fósforo do solo e necessitam de teores elevados de fósforo para bom desenvolvimento. Já as plantas de ciclo longo e sistema radiculares muito desenvolvidos aproveitam bem teores relativamente baixos de fósforo disponível.

Em florestas, a absorção e deposição de resíduos pelas plantas pode resultar em pronunciada alteração de fósforo total na distribuição em profundidade. A maior parte da assimilação de fósforo realiza-se no piso da floresta enquanto o fósforo retorna principalmente na superfície dos horizontes minerais na forma de liter (HUANG e SCHOENAU, 1996).

Para o desenvolvimento inicial de mudas de eucalipto GOMES et al (1982) observaram que os teores de fósforo disponível são consideravelmente maiores do que aqueles requeridos por culturas anuais.

Ainda em relação ao fósforo BARROS et al (1982) observaram que mudas de eucalipto no estado jovem são pouco efetivas quanto à absorção de fósforo, necessitando um teor de fósforo no solo muito mais elevado do que aquele requerido para a maioria das culturas. Com o avanço da idade há uma diminuição

acentuada no valor do nível crítico, mostrando uma tendência descendente. VALE (1982) observou que a maior exigência à fósforo por plantas de eucaliptos em estágio inicial, deve-se provavelmente a um valor da constante cinética de absorção de fósforo - k_m (k_m - descreve a afinidade entre o íon a ser transportado e o seu carregador) para o eucalipto bem maior do que para culturas de ciclo curto como o milho, o que indica menor afinidade entre o fósforo e o seu carregador nas raízes do eucalipto do que nas de milho. NOVAIS et al (1982) acrescentaram queda do valor crítico de fósforo no solo com o crescimento do eucalipto o qual deve se dar, possivelmente, pela diminuição de seu k_m e ou pelo aumento do seu sistema radicular, aspecto da maior importância para uma maior absorção de fósforo.

BEADLE (1962)¹ citado por McCOOL (1969) observou que comunidades de plantas na costa central de New South Wales, incluindo espécies de eucaliptos, são delimitadas pela quantidade de fósforo disponível no solo.

LUTZ & CHANDLER (1946) enfatizaram que solos que possuem altas quantidades de ferro e alumínio ativos, principalmente em solos ácidos, tornam o fósforo a uma relativa indisponibilidade, através de combinações com o ferro e o alumínio.

Outro fator que interfere na disponibilidade de fósforo é a textura, pois segundo NOVAIS et al (1990) em solos argilosos onde há infiltração mais lenta da

¹ BEADLE, N.C.W. Soil phosphate and the delimitation of plant communities in eastern Australia. *Ecology*. 34: 370-375. 1962

água, ocorre maior retenção de umidade, o que colabora para um melhor potencial de água no solo, favorecendo o transporte de fósforo até as raízes que é realizado por fluxo de massa.

Para o elemento químico potássio, BARROS et al (1981) encontraram variação de espécie para espécie, enquanto ele é de aproximadamente 10 mg/kg para *E. grandis* é de aproximadamente 14 mg/kg para *E. cloëziana*. O nível crítico de potássio é afetado pelos teores de cálcio mais magnésio trocáveis no solo e pela relação Ca:Mg. Salientaram que é provável que o nível crítico de potássio para árvores esteja entre 20 a 50 mg/kg, ocorrendo um aumento do nível crítico de potássio no solo para o crescimento do eucalipto até uma certa idade da planta.

Em trabalho posterior também realizado por BARROS et al (1986), para o potássio, verificaram que em solos com teores de 23 a 28 mg/kg de potássio originalmente, eram registrados valores positivos a grandes aplicações deste elemento e de forma que o incremento da produção apresentava aumento de ano a ano.

A exigência do eucalipto em relação ao cálcio e magnésio é bem inferior àquelas da maioria das plantas cultivadas conforme BARROS et al (1982). No entanto, NOVAIS et al (1990) citaram que em horizontes inferiores, onde ocorre baixa disponibilidade de cálcio, o crescimento das raízes poderá estar limitado.

Estudando associações de espécies de eucaliptos McCOLL (1969) observou que o solo que apresenta a relação Ca:Mg menor do que um, o magnésio pode

competir com o cálcio, limitando o crescimento, devido a insuficiência de cálcio no solo disponível para absorção. Em solos com pequenas quantidades de Ca e Mg trocáveis, a absorção de fósforo pelas raízes e o metabolismo dentro das plantas pode ser inibido, não somente pela extensão pobre da raiz devido aos baixos níveis de cálcio e pela pequena quantidade de fósforo solúvel, mas também pelo acúmulo de grandes quantidades de alumínio na superfície das raízes, o qual restringe a absorção de cálcio e magnésio. Assim a absorção de elementos não depende somente da concentração total ou solúvel, mas da interação de cátions na superfície da raiz.

A capacidade das plantas absorverem cálcio pode estar limitada segundo TISDALE et al (1975) devido o cálcio ser absorvido somente por raízes jovens nas quais as paredes da células do endoderma não estão suberificadas. Acrescentaram que o conteúdo de cálcio nas plantas é um fator largamente controlado geneticamente. Em relação ao magnésio observaram que a quantidade absorvida pelas plantas são menores do que o cálcio e potássio. Níveis altos de alumínio trocável em solos ácidos podem prejudicar a absorção de magnésio. Problemas nutricionais de magnésio estão às vezes, associados com percentagens de saturação de alumínio de 65 a 70%.

Em relação aos micronutrientes existe pouca literatura quanto à exigência dos eucaliptos. BARROS et al (1990 b) constataram que em condições de solos tropicais e regiões úmidas, o manganês tem merecido maior atenção pela

possibilidade de causar toxicidade às plantas, enquanto os demais, com exceção do ferro, encontram-se em quantidades quase sempre inadequadas para o crescimento satisfatório da maioria das culturas.

KALBASI¹ et al (1978) citado por NOVAIS et al (1990) observaram que ocorre intensa adsorção de zinco pelo solo, com uma fração de argila rica em óxidos, o que leva a uma baixa concentração do nutriente na solução do solo e a um transporte predominantemente por difusão, devendo ocorrer uma redução drástica da difusão no solo com a queda do potencial hídrico do solo. Ressaltaram que os sintomas de deficiência de zinco em condições de campo ocorre com maior frequência em solos de textura arenosa a média, devido à baixa retenção de umidade, além do menor teor de zinco nos solos. Outro fator que pode afetar a absorção de zinco são as condições de baixa temperatura conforme MENGEL & KIRKBY² (1982) citados por NOVAIS et al (1990). Esses autores citaram também a influência do aumento do pH, que reduz a disponibilidade de zinco no solo e o aumento de fósforo disponível, formando complexos com o zinco. No entanto, BARROS et al (1990) ressaltaram que no cerrado brasileiro apesar do pH ser baixo, a deficiência de zinco é freqüente em muitas culturas.

Em relação ao ferro e manganês NOVAIS et al (1990) encontraram que somente o aumento excessivo das formas reduzidas dos elementos causam

¹ KALBASI, M.; RACZ, G.J. & LOEWEN-RUDGERS, L.A. Mechanism of zinc adsorption by iron and aluminum oxides. *Soil Sci.* 125: 146-150. 1978

² MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern, International Potash Institute. 655p. 1982

toxicidade às plantas, geralmente encontradas sob condições de alagamento ou baixa aeração. Salientaram que a calagem pode afetar os teores destes elementos no solo, já que ocorre elevação do pH, diminuindo a disponibilidade de ferro e manganês. Esses mesmos autores observaram que a eficiência do eucalipto em absorver ferro e manganês é, provavelmente, muito grande e pode ser dependente da capacidade das raízes dessa plantas em abaixar o pH do meio, aumentando a disponibilidade desses elementos.

BARROS et al (1990 b) citaram que em solução nutritiva e em solo os eucaliptos demonstraram grande sensibilidade ao ferro com toxicidade e redução de crescimento, se os níveis do elemento fossem superiores a 40 mg/kg no solo (extrator Mehlich) ou a 5 mg/kg na solução nutritiva. Constataram também que ocorre uma acentuada redução do crescimento dos eucaliptos quando plantados em fundo de veredas ou baixadas sujeitas a inundações periódicas. Em uma série de experimentos realizados com *E. grandis* tanto em solução nutritiva, como em solos, NOVAIS et al (1990) demonstraram também que ocorre uma grande susceptibilidade das plantas de *E. grandis* à toxicidade de ferro e uma grande tolerância a elevadas concentrações de manganês, e que ainda ocorre uma diminuição da absorção de ferro pela adição de manganês.

No que refere ao cobre a carência de informação é ainda bem maior do que para os micronutrientes supracitados. BARROS et al (1990 b) registraram que o cobre é também fortemente adsorvido pelas frações mineral e orgânica; e somente

em solos muito arenosos, apresenta pequena mobilidade. Observaram também que os sintomas de deficiência em plantas cultivadas são freqüentes em solos ricos em matéria orgânica.

Outro fator que afeta o desenvolvimento da raiz é a acidez encontrada em solos florestais. Em relação à acidez, MARSCHNER (1991) relatou que o crescimento das plantas pode estar limitado por uma variedade de fatores químicos e interações entre esses fatores. Sob condições ácidas, as maiores restrições para o crescimento da planta são os seguintes: aumento da concentração de hidrogênio, alumínio, manganês, diminuição na concentração de cátions: magnésio, cálcio e potássio, diminuição na solubilidade de fósforo e molibidênio, inibição no crescimento da raiz e aumento da lixiviação. A relativa importância desses fatores depende da espécie de planta e genótipos; tipo de solo e horizonte, material de origem, valor do pH do solo, concentração de alumínio, estrutura do solo e aeração, além das condições do clima. O autor citou como exemplo, o crescimento da raiz da espécie *Fagus sylvatica* L. segundo MURACH & ULRICH, (1988)¹ é muito mais sensível à altas concentrações de hidrogênio do que alumínio, enquanto para *Picea abies* Karst parece ocorrer o inverso. Observou que para uma dada espécie de planta, a localização e distribuição das raízes dentro do perfil do solo pode ser um importante fator na determinação da acidez do solo.

¹ MURACH, D. e ULRICH, B. Destabilization of forest ecosystems by acid deposition. GeoJournal. 17.2, 253-260. 1988.

A toxicidade de alumínio aparece inicialmente no sistema radicular, resultando na inibição de crescimento do eixo principal e lateral das raízes (MARSCHNER, 1986).

Como forma da planta contornar a acidez dos solos, devido a vários fatores do stress a que são expostas, algumas estratégias são utilizadas pelas plantas quanto à tolerância e prevenção ao stress segundo MARSCHNER (1991), podendo ser requeridas simultaneamente, embora variando em graus. Como tolerância ao stress a planta pode baixar a demanda interna de nutrientes, redistribuição dos nutrientes minerais, alta tolerância à elementos tóxicos (manganês e alumínio) e como prevenção a planta pode aumentar a aquisição de nutrientes minerais(velocidade, área de superfície da raiz), exclusão do alumínio e manganês da absorção de sítios sensíveis e associação com microorganismos (simbiose).

GILLIAM (1991) destacou que solos altamente intemperizados são difíceis de gerenciar porque as espécies de plantas diferem nas necessidades nutricionais associada a sensibilidade aos solos ácidos.

As espécies de eucalipto têm mostrado alta tolerância a elevados níveis de alumínio, seja em solução nutritiva, seja no solo (NEVES et al, 1982). Esses autores encontraram que a redução de crescimento de várias espécies de eucalipto ocorre quando o teor de alumínio ultrapassa 9 mg/kg. Concluíram também que a aplicação de calagem como corretivo da acidez do solo não se justifica em plantios de eucalipto, a não ser que haja necessidade de utilizá-la como fonte de cálcio e

magnésio. NOVAIS et al (1982) observaram que espécies de eucaliptos suportam até 88% de saturação sem comprometer o desenvolvimento radicular.

2.3.2.1 Métodos químicos utilizados em Análise Química do Solo

A maioria dos métodos para estimar a disponibilidade de nutrientes segundo MENGEL & KIRKBY (1987) envolvem tratamento do solo com um extrato que contém cátions específicos os quais são capazes de realizar a troca com um determinado cátion adsorvido ao solo. Esses autores constataram que o conhecimento do conteúdo total de um nutriente no solo não é tão importante quanto conhecer o conteúdo solúvel e de fácil acesso para as plantas. Neste aspecto GÖMÖRYOVÁ e GÖMÖRY (1995), mencionaram que medir o suprimento total de algum nutriente não é complicado, mas medir a quantidade do nutriente que está realmente disponível para as plantas é trabalhoso, pois diferentes métodos químicos fornecem diferentes resultados, além do que, muitas vezes não quantificam corretamente os nutrientes que estão realmente disponíveis para as plantas.

De HOOGH (1981) constatou que o suprimento de nutrientes do solo para a planta é difícil determinar devido a muitos fatores que estão envolvidos. O conteúdo total de nutrientes, a atividade de microorganismos, o acesso da raiz, volume do solo, disponibilidade de água no perfil do solo e efeitos antagônicos na absorção de íon podem constituir-se em fatores críticos.

REHFUESS¹ (1969) citado por De HOOGH (1981) recomendou a aplicação de métodos de extração de solos específicos para regiões ecológicas diferentes, a fim de incluir fatores importantes para suprimento de nutriente em cada região. Determinando assim, que métodos de extração tradicionais utilizados em regiões temperadas não podem ser aplicados sem restrições em regiões tropicais e subtropicais onde os níveis de energia são muito maiores, e influem na termodinâmica de absorção do nutriente.

Em relação aos métodos utilizados para análise de micronutrientes LOPES & CARVALHO (1988) salientaram que a concentração na solução do solo é muito baixa, abaixo dos limites de detecção. Ressaltaram que há um grande número de métodos de extração de micronutrientes porém, a falta de calibração adequada destes métodos para uma região específica, o que torna a interpretação extremamente difícil dos dados analíticos, além do que a troca de informações com base em diferentes métodos são praticamente impossíveis.

De acordo com LINDSAY & COX² (1985) citados por LOPES & CARVALHO (1988) extratores ácidos ou básicos usados em análises de solo dissolvem parcialmente sólidos que contém formas lábeis dos micronutrientes. Ácidos

¹ REHFUESS, K.E. Der Ernährungszustand süddeutscher Tannenbeständen (*Abies alba* Mill) in Abhängigkeit von den Nährelementvorräten in Boden. *Forstw. Cbl.* 88, 359-372, 1969.

² LINDSAY, W.L. & COX, F.R. Micronutrient soil testing for the tropics. In: VLEX, P.L.G. ed. Micronutrients in tropical food crop production. Dordrecht, M. Nijhoff, Dr.W.Junk, 1985. 260p. (Developments in plant and soil science, 14)

diluídos têm sido usados com freqüência em solos ácidos, enquanto bases, como carbonatos e bicarbonatos, são utilizados em solos alcalinos.

2.4 AVALIAÇÃO DE SÍTIOS FLORESTAIS COM O CRESCIMENTO DE ESPÉCIES

Os parâmetros mais utilizados para a avaliação de sítios florestais incluem variáveis do povoamento que se relacionam com os fatores que influem no crescimento e produtividade das espécies florestais.

A avaliação de sítio citado por SPURR (1952) expressa a capacidade de uma área produzir vegetação e conceituou-a como a soma total dos fatores do solo, biológicos e climáticos que afetam as plantas. Acrescenta que embora o solo florestal seja importante na determinação de sítio, o clima florestal e o complexo fauna e flora na floresta podem também ser considerados.

Segundo HÄGGLUND¹ (1981) citado por GONÇALVES (1988) os métodos de classificação de sítio podem ser baseados em variáveis dendrométricas, tais como aquelas relacionadas com a taxa de crescimento (altura, diâmetro, idade e outras); e nas variáveis de sítio, tais como, as de clima, de solo e da vegetação de sub-bosque; e na combinação de variáveis dendrométricas e de sítio.

¹ HÄGGLUND, B. Evaluation of forest site productivity. Forestry abstracts, Oxford, 41(11): 515-27, 1981.

As influências biológicas negativas no crescimento, como doenças e ataques severos de insetos, podem ser minimizados por cuidados com a seleção do sítio, a fim de que não tenham efeito prejudicial no crescimento das árvores (PRICHETT, 1979).

Referiu ainda que os fatores do meio que afetam o desenvolvimento do solo também influenciam o tipo de comunidade de plantas que se desenvolvem em área específica. Propriedades como textura, pH, umidade e material de origem são particularmente importantes.

BARROS et al (1990) e De HOOGH (1981) citaram que o tipo de vegetação natural existente, o padrão das pastagens, ou mesmo o rendimento das lavouras anteriormente implantadas são valiosas informações, pois refletem o balanço resultante da interação entre as condições de água e o nível de nutrientes do ambiente.

Entre os fatores que influem na taxa de crescimento da altura e diâmetro KRAMER & KOZLOWSKI (1960) relacionaram a periodicidade do crescimento, variações ambientais, qualidade do sítio e do potencial genético. Consideraram que a periodicidade sazonal do crescimento em altura é mais controlada por fatores genéticos do que o crescimento em diâmetro, que é mais sensível às flutuações das condições ambientais.

GONÇALVES (1988) sugeriu uma classificação interpretativa do levantamento de solo englobando quatro níveis categóricos: clima, relevo, textura

do solo e fertilidade do solo. Relatou que apesar desses fatores agirem de forma interativa, pode ocorrer em determinada situação que um fator predomine sobre outro.

Para HUSCH (1982) uma seleção de fatores da relação plantas versus meio ambiente, que possa ser empregada na avaliação do sítio florestal se torna extremamente complexa, devido a interdependência e interação desses fatores, dificultando assim a determinação da causa e efeito da relação. Salientou que as características significantes relacionadas ao crescimento das árvores não são as mesmas em qualquer região. A umidade relativa, a natureza arenosa, profundidade, quantidade de argila nos horizontes A e B, nível de nutrientes, temperatura do solo, e outras características têm diferentes efeitos, dependendo do tipo de solo e espécies envolvidas.

A FAO (1981) constatou que se emprega comumente a relação da altura com a idade, como medida de qualidade de sítio, pois a altura e o diâmetro são muito mais fáceis de medir do que volume. O volume é uma variável que pode refletir com maior precisão a produtividade do sítio, já que a altura e o diâmetro são influenciadas em maior ou menor intensidade por práticas silviculturais (por exemplo, espaçamento, raleios etc) .

Na classificação do sítio o uso da altura das árvores dominantes é segundo SPURR (1952) mais recomendável se comparado ao uso do volume, por ser aquela variável menos influenciada por mudanças na densidade e técnicas de manejo.

Ainda SPURR e BARNES (1973) acrescentaram que para uma medição mais acurada da altura dominante, é necessário realizar a média aritmética das cem árvores mais grossas por hectare.

Em medições de povoamentos de *Araucaria angustifolia* FERNÁNDEZ et al (1994) constataram que a altura dominante constitui em ser uma variável adequada para avaliar e classificar a capacidade produtiva de áreas florestais.

Em seu estudo sobre classificação de sítio SALAS (1974), utilizou análise de variância na avaliação dos fatores ambientais, através da determinação da relação direta entre dois fatores, altura e profundidade.

ELLIS (1989) buscando a diferenciação entre vários sítios florestais com espécies de eucaliptos estimou a produtividade do sítio através da altura de árvores dominantes e também a taxa de mineralização do carbono orgânico no solo. Diferenças nas propriedades químicas e físicas do solo forneceram muito mais importantes diferenças do que as diferenças em clima na determinação na variação entre os sítios na taxa de crescimento das mudas e na altura de árvores adultas.

A utilização de índice de sítio não fornece informações entre o crescimento e/ou características do campo e sítio (propriedades do solo ou o clima), conforme GONÇALVES (1988), GÖMÖRYOVÁ e GÖMÖRY (1995), fornece informações somente sobre o povoamento predizendo o seu desenvolvimento.

Para a investigação da qualidade do sítio, a forma mais usual encontrada por HUSCH (1982), consiste na utilização da análise de regressão múltipla com a altura ou o índice de sítio como variável dependente e as características do solo e do meio ambiente como variáveis independentes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 CARACTERÍSTICAS DA ÁREA EM ESTUDO

3.1.1. Localização do povoamento

Os dados utilizados neste estudo foram provenientes do talhão denominado Ilha Tokarski (figura 1). A região em estudo está localizada no município de Mafra no estado de Santa Catarina, em áreas pertencentes à

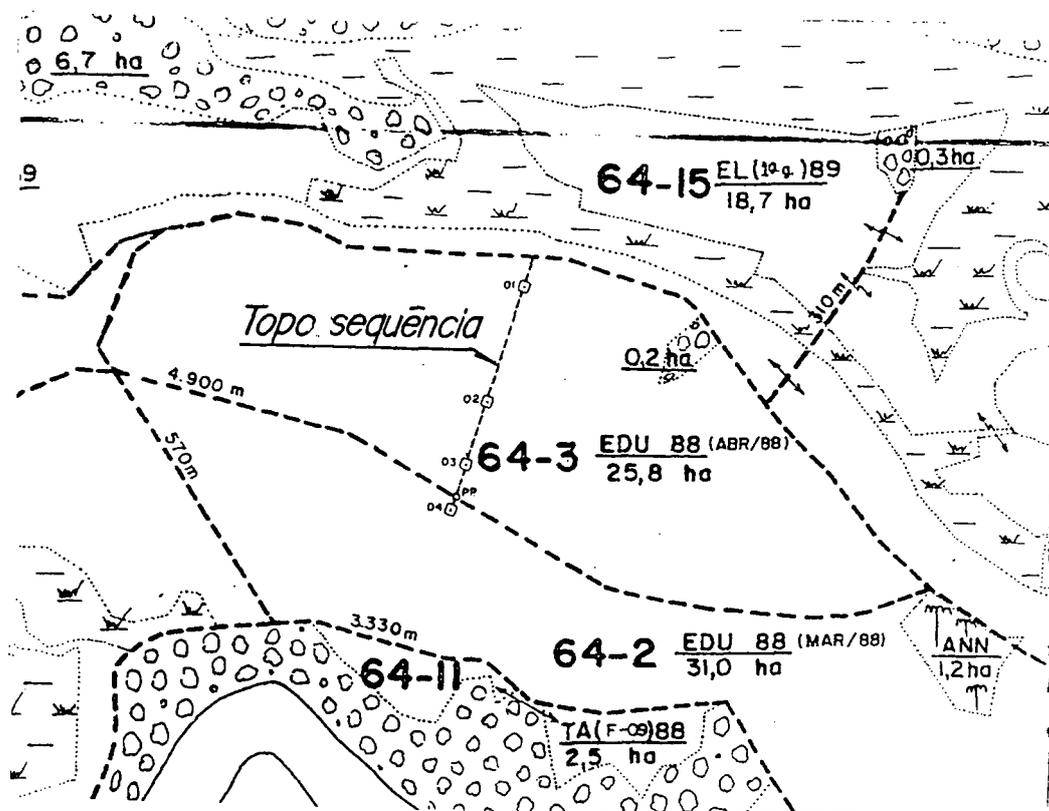


FIGURA 1. Localização da toposequência dentro do talhão Ilha do Tokarski.

RIGESA - Papel e Embalagem de Santa Catarina . O município está situado a 50° 09'W longitude e 26°02' S latitude.

3.1.2 Características do meio físico

A geologia da local em estudo pertence ao Grupo Tubarão, constituído por rochas sedimentares de idade carbonífera, e que formam a base do gondwana do Estado. O município de Mafra pertence ao subgrupo Itararé. São sedimentos formados por folhelhos, conglomerados, arenitos, siltitos e carvão (LEVANTAMENTO ... 1973).

Mafra está localizada no Planalto de Canoinhas conforme LEVANTAMENTO ... (1973), o qual é formado por rochas sedimentares, apresentando relevo suave ondulado e ondulado, com altitudes médias em torno de 800 a 900 metros.

O clima da região conforme a classificação de Köppen citado por LEVANTAMENTO ...(1973) é classificado como pertencente ao grupo C , mesotérmico com temperaturas do mês mais frio abaixo de 18°C e acima de 3°C . Tipo úmido (f) sem estação seca bem distinta, sendo que não há índices pluviométricos mensais inferiores a 60 mm e verão fresco (b), onde as temperaturas do mês mais quente estão abaixo de 22°C; umidade relativa média anual 82 a 84%. Em relação a ocorrência de geadas referiu que são mais

comuns na zona do planalto e Oeste do Estado, chegando às vezes, a atingir o litoral. Entre 10 a 25 dias do ano.

Em relação à vegetação é classificada como floresta ombrófila mista, conforme IBGE (1991). Nesta formação vegetal, destaca-se o pinheiro brasileiro (*Araucaria angustifolia*) formando o estrato superior, seguindo-se às vezes, um estrato intermediário, formado principalmente pelo cedro (*Cedrella fissilis*), onde ainda são encontradas, árvores de pequeno e médio porte com predomínio das Lauraceas. As espécies mais frequentes além das citadas são canela amarela (*Nectranda lanceolata*), canela langeana (*Ocotea pulchella*), cereja (*Eugenia involucrata*) e erva-mate (*Ilex paraguariensis*).

3.2 COLETA DE DADOS

Este trabalho foi desenvolvido em povoamentos de *Eucalyptus dunnii* Maiden com sete anos de idade, em espaçamento 2,5 m x 2,5 m. Selecionouse para o estudo uma toposequência de aproximadamente 320 m de comprimento com exposição leste, e com 11% de declividade média, na qual foram abertos quatro perfis de solo de aproximadamente 1,80 m de profundidade, no topo e nos terços médio e inferior, de forma que cada um expressasse a variação de crescimento na extensão da toposequência. A cada

perfil aberto foram alocadas parcelas para medição de diâmetro e altura das árvores (Figura 2).

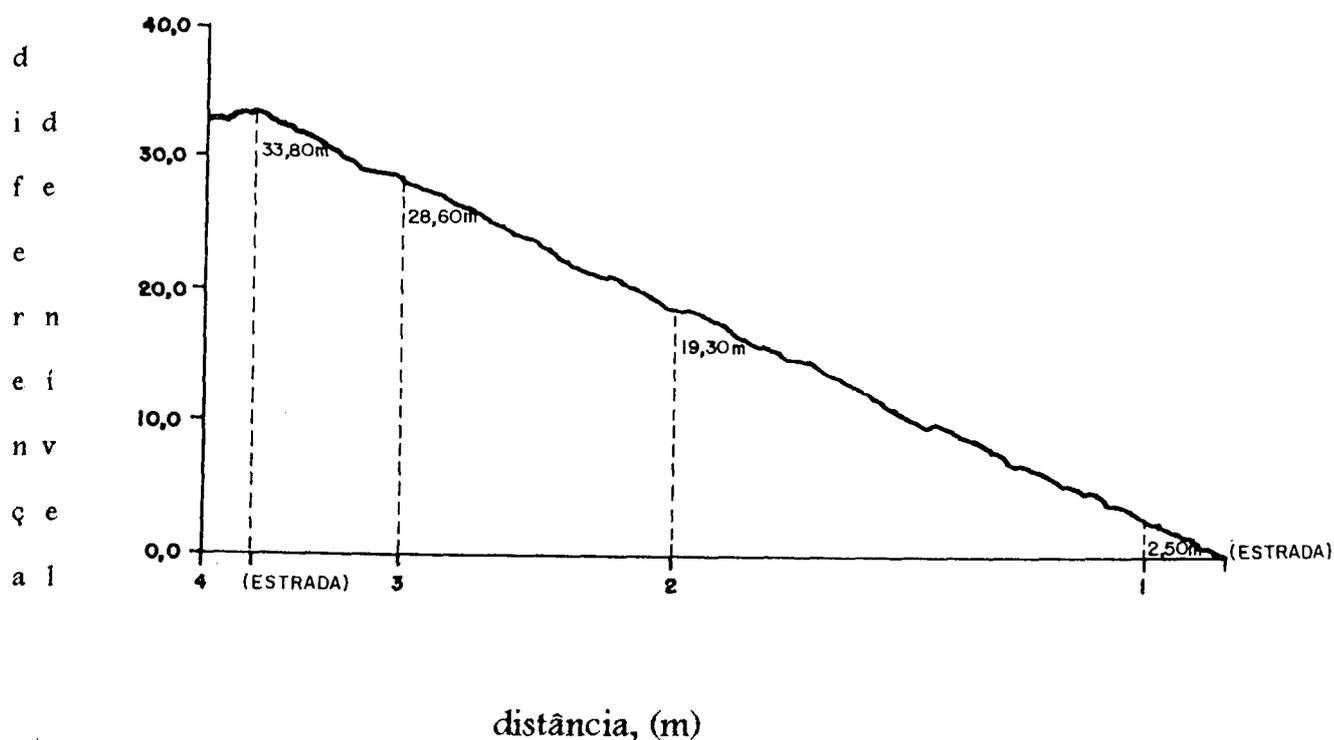


FIGURA 2: Localização dos perfis na topo sequência.

Foram então instaladas quatro parcelas ao longo da toposequência para a execução do levantamento dendrométrico, com área de 500 m² (25m x 20m), sendo que as medições de altura e diâmetro das árvores foram efetuadas nas árvores dominantes (média aritmética das cem árvores mais grossas contidas em um hectare, SPURR e BARNES, 1973).

3.3 AMOSTRAGEM DOS SOLOS

As amostras para análises químicas e físicas foram coletadas em cada trincheira aberta, por horizontes, e amostras superficiais de 0-20 cm de profundidade, próximas a cada perfil do solo.

3.4 ANÁLISE DE SOLOS

As características morfológicas foram descritas seguindo-se as recomendações da LEMOS & SANTOS (1982). Para determinação da cor a úmido, utilizou-se a tabela de cores para o solo da MUNSELL COLOR COMPANY (1946).

3.4.1 Preparo das Amostras

Após a descrição morfológica em campo, as amostras coletadas foram encaminhadas ao laboratório de solos, secas ao ar e preparadas para análise física e química dos solos.

3.4.2 Análise Física

Foram determinadas as frações do solo em amostras de terra fina seca ao ar (TFSA), para cada amostra coletada, utilizando-se como dispersante hidróxido de sódio, reunindo as partículas em classes de tamanho de acordo com o sistema americano. Utilizou-se para a análise granulométrica o método da pipeta, descrito em EMBRAPA (1979).

3.4.3 Análise Química

Para a execução destas análises foram utilizadas amostras de terra fina seca ao ar moída. As amostras de solos foram submetidas a três tipos de extração química, com ácido cítrico 1%, com ácido clorídrico 10% e análise de rotina (somente empregada para os macroelementos) utilizada no laboratório de solos da Universidade Federal do Paraná e que apresenta extratores específicos para elementos químicos, conforme as metodologias descritas a seguir.

Os teores de potássio e fósforo foram extraídos com H_2SO_4 0,025N+ HCl 0,05N (extrator de Mehlich), cálcio e magnésio através do extrator KCl 1N, alumínio mais hidrogênio utilizando extrator KCl, conforme metodologia descrita em PAVAN et al (1991) e para o alumínio foi utilizado o extrator acetato de cálcio conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1979).

As outras duas extrações utilizadas foram descritas em HILDEBRAND et al (1976/77). Tanto os macro como microelementos foram submetidos as extrações com ácido cítrico 1% e ácido clorídrico 10% com exceção do nitrogênio e do carbono.

Os macro e microelementos também foram submetidos à digestão total com ácido fluorídrico e ácido perclórico conforme metodologia descrita em HILDEBRAND et al (1976/77). Os seguintes macronutrientes foram analisados: cálcio, magnésio, potássio, fósforo e os micronutrientes cobre, manganês, ferro e zinco. Assim como para o elemento químico alumínio. Após a extração química com ácido cítrico 1%, ácido clorídrico 10% e a digestão total, a determinação dos elementos químicos foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica, com exceção do fósforo determinado através de colorimetria.

O carbono foi determinado através de colorimetria utilizando bicromato de potássio (método WALKLEY-BLACK) .

Para a determinação do nitrogênio utilizou-se da metodologia descrita por Kjeldhal conforme HILDEBRAND et al (1976/77) .

Foram determinados também pH em água, CaCl_2 e SMP todos na proporção (1:2,5) conforme metodologia descrita em PAVAN (1991).

A percentagem de saturação de bases e a percentagem de saturação de alumínio, foram calculadas pelas seguintes fórmulas:

$V\% = S \times 100/T$ e $\%Al = 100 \times Al/Al + S$, respectivamente. O valor S que aparece na fórmula, representa a soma dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+). O valor T que representa a capacidade de troca de cátions (CTC), foi obtido pela soma de $S + H^+ + Al^{3+}$.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As variáveis do crescimento de *Eucalyptus dunnii* e as variáveis de solo foram analisadas utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado e análise de regressão. A comparação entre as médias foi feita pelo teste de Duncan e F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Os teores obtidos nas diferentes extrações foram relacionados com o teor total de cada elemento analisado para as amostras superficiais (0-20 cm), através do coeficiente de correlação linear simples. O coeficiente de correlação foi testado através da distribuição t de Student com (n-2) graus de liberdade, verificando assim se o coeficiente de correlação (r) combina com o respectivo tamanho da amostra (n) ao nível de significância 5%, utilizando a seguinte equação conforme COSTA NETO (1977): $t_{n-2} = r (n-2/1-r^2)^{1/2}$

A partir dos valores significativos do coeficiente de correlação entre as variáveis dos teores de nutrientes analisados no solo, procedeu-se ao ajuste das equações de regressão seleccionadas através do melhor coeficiente de

determinação observados nos modelos testados. Considerando como variável dependente os teores obtidos a partir das extrações utilizadas e como variável independente os teores totais dos elementos analisados.

A relação funcional entre as variáveis de crescimento e as variáveis do solo foram também estabelecidas através de coeficiente de correlação e equações de regressão. As variáveis de crescimento consideradas como dependentes, foram a altura e diâmetro à altura do peito das árvores dominantes, sendo definidos como média aritmética das 100 árvores de maior diâmetro por hectare (SPURR e BARNES, 1973). As características do solo foram consideradas como variáveis independentes. A seleção das equações foram executadas segundo o melhor coeficiente de determinação obtido pelo ajuste dos modelos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO DA ÁREA EM ESTUDO E A ÁREA DE ORIGEM DO *Eucalyptus dunnii*

Ao se comparar a área de origem de *E. dunnii* com a área em estudo, verificou-se que não há uma disparidade acentuada entre os dados do local de origem de *E. dunnii* com as características do meio físico do local em estudo, favorecendo assim, a adaptação da espécie no que se refere as características do meio físico. Verificou-se que as latitudes estão bem próximas, pois na região de ocorrência natural variam de 28 ° a 30° 15' S e na área em estudo a latitude é de 26° 02' S conforme EMBRAPA (1988). A altitude do município que está em torno de 800 metros, se aproxima da máxima do local de origem que está entre 300 e 780 metros, conforme EMBRAPA (1988). A temperatura média das máximas do mês mais quente está em torno de 27° a 30° C no local de ocorrência natural e na área do plantio está em torno de 22°C . A temperatura média das mínimas do mês mais frio fica entre 0° e 3°C na região de origem, sendo que no município de Mafra a temperatura do mês mais frio fica acima de 3° C e abaixo de 18° C. Em relação às geadas no local de origem o *E. dunnii* está sujeito a ocorrência de 20

a 60 geadas por ano e no local de estudo o período de ocorrência de geadas está entre 10 e 25 dias no ano. Quanto à precipitação, parece ser semelhante ao local de origem, no qual a precipitação mensal é sempre superior a 40 mm e na área de estudo não acusa índices pluviométricos mensais inferiores a 60 mm (LEVANTAMENTO ... 1973).

Na região de origem o *E. dunnii* prefere solos úmidos e férteis, bem drenados conforme EMBRAPA (1988). Segundo a FAO (1981) os solos têm pH relativamente baixos, tendência a deficiência em fósforo e nitrogênio. Apresentam freqüentemente elevado conteúdo de alumínio, magnésio e ferro, porém níveis baixos de cobre e zinco. Quanto ao solo do local deste estudo quando se comparou ao solo do local de origem de *E. dunnii* descritas em EMBRAPA (1988) observou-se características muito semelhantes, principalmente quanto ao pH baixo, deficiência em fósforo, elevado conteúdo de alumínio e ferro e níveis baixos de cobre e zinco. Desta forma o solo do local do estudo tem indicações de relativamente oferecer condições para o crescimento da espécie em análise.

4.2 CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* NA TOPOSEQUÊNCIA ESTUDADA

Na tabela 1 encontram-se os valores médios do levantamento dendrométrico realizado no povoamento de *E. dunnii*. Observando-se os resultados da tabela 1, constata-se que as árvores dominantes nos perfis 1 e 2 ocorreram os maiores crescimentos em altura. O perfil 3 apresentou árvores dominantes com crescimento intermediário, mas com significativa diferença em relação aos dois primeiros. Estes perfis estão implantados em Latossolos Vermelhos-Amarelos.

Tabela 1. Valores médios de altura dominante (h) e diâmetro dominante (d) das parcelas correspondentes aos perfis estudados de *Eucalyptus dunnii*.

| Perfil | h(m) | d(cm) |
|--------|--------|--------|
| 1 | 27,5 a | 24,4 a |
| 2 | 27,4 a | 21,6 b |
| 3 | 21,8 b | 18,4 c |
| 4 | 15,1 c | 14,9 d |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Analisando-se o perfil 4, implantado em Cambissolo, observou-se que as árvores neste local apresentaram o menor crescimento em altura dominante e foi também o que está localizado na posição mais elevada da toposequência. É possível constatar ainda que a diferença entre a altura dominante no perfil 1, localizado na base da pendente, inserido em Latossolo Vermelho Amarelo e a altura dominante do perfil 4, localizado em cambissolo foi de aproximadamente 12 m (55%).

O crescimento em diâmetro dominante de *E. dunnii* apresentou significativas diferenças entre todos os perfis analisados. Observou-se um comportamento semelhante à altura dominante, sendo que o crescimento foi menor, a medida que se direciona à parte mais baixa da toposequência (perfil 1) em direção à parte elevada da toposequência (perfil 4). Observou-se igualmente à altura dominante que entre o perfil 1 e o perfil 4, há uma diferença em diâmetro dominante em torno de (61%).

A diferença de crescimento observado tanto em altura como em diâmetro dominantes nas parcelas correspondentes aos perfis estudados pode ser atribuída em grande parte às características dos solos, pois o povoamento em estudo está localizado em uma região com características climáticas homogêneas. Salientando ainda outro fator que poderia interferir no crescimento; a presença de pragas e doenças que, no estudo se caracterizam pela ausência ou baixa incidência.

4.3 RELAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS QUÍMICOS UTILIZADOS NA EXTRAÇÃO DE NUTRIENTES NOS SOLOS ESTUDADOS

A) Fósforo

Na tabela 2, estão apresentados os teores totais médios de fósforo correspondendo às amostras coletadas de 0-20 cm. Constatou-se que os maiores teores totais de fósforo do solo foram encontrados no perfil 4. Os menores teores foram localizados nos perfis 1 e 2, sendo que estes se apresentaram estatisticamente semelhantes.

Tabela 2. Valores médios de fósforo, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Extrator Mehlich (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|--|--|--|
| 1 | — | 0.47 a | 1.83 a | 3.05 a |
| 2 | — | 0.36 b | 2.00 a | 2.87 a |
| 3 | — | 0.38 b | 2.50 a | 3.52 b |
| 4 | — | 0.33 b | 2.50 a | 3.82 b |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Na tabela 3 pode-se verificar a amplitude em que os teores de fósforo variaram, sendo que os teores encontrados podem ser caracterizados como baixos, por apresentarem teores totais baixos. O perfil 4 apresentou teores maiores de fósforo em relação aos demais perfis. RAIJ (1987a) encontrou teores totais de fósforo variando de pouco mais de zero, em solos muito arenosos, até valores variando de 2000 a 3000 mg.kg^{-1} , sendo o fator condicionante principal o material de origem do solo. Assim, nos solos utilizados para este estudo, os valores teores totais baixos estão indicando que o material de origem que originou o solo em estudo, continha baixos teores de fósforo, resultando nos valores encontrados.

Tabela 3. Amplitude de variação do fósforo em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg^{-1}) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg^{-1}) | Extrator Mehlich (mg.kg^{-1}) | | Digestão total (mg.kg^{-1}) | | |
|--------|---|---|---|---|---|------|------|
| 1 | — | 0.12 | 0.47 | 1 | 2 | 1.58 | 2.75 |
| 2 | — | 0.33 | 0.54 | 1 | 2 | 1.78 | 2.68 |
| 3 | — | 0.20 | 0.70 | 1 | 3 | 1.77 | 3.25 |
| 4 | — | 0.24 | 0.85 | 1 | 2 | 2.19 | 3.56 |

Em relação à profundidade (apêndice 2) observou-se que no perfil 1, os maiores teores de fósforo total foram encontrados nos primeiros centímetros havendo diminuição gradativa, com pequena faixa de oscilação dos teores em alguns horizontes. Tanto no perfil 2 como no perfil 3 se encontrou também,

maiores teores nos primeiros centímetros do perfil, diminuindo com a profundidade a valores quase constantes. Este comportamento também foi encontrado por VERDADE (1960b) que estudando diversos tipos de solos no Estado de São Paulo, observou que o fósforo total encontrava-se uniformemente distribuído no perfil, com pequeno acúmulo na superfície. MARSCHNER (1986) constatou que a absorção de fósforo e deposição de resíduos pelas plantas pode resultar em pronunciada alteração de fósforo total na distribuição com a profundidade.

Já no perfil 4, o maior teor de fósforo total observado se encontra no horizonte C, mais especificamente C₂ (neste caso foi possível atingir o horizonte C devido a sua menor profundidade em relação aos demais perfis estudados). Isto é decorrência do horizonte C estar menos sujeito à intemperização e apresentar ainda alguma relação com o material de origem. Os horizontes A e B deste perfil apresentaram comportamento semelhante aos horizontes dos perfis anteriores, o horizonte A com maiores teores totais de fósforo e o horizonte B registrando relativa uniformidade em seus teores de fósforo total.

Não foram obtidos resultados da extração do fósforo com ácido cítrico, devido a metodologia não estar ainda suficientemente adequada para tal fim. A extração do fósforo com ácido clorídrico (tabela 2) na profundidade de 20 cm extraiu maiores teores para o perfil 1, diferindo estatisticamente dos demais perfis que mantiveram teores próximos. Há uma diminuição considerável de fósforo

quando se compara o perfil 1 com o perfil 4, em torno de $0,14 \text{ mg.kg}^{-1}$, esta diferença de teores pode ser decorrente de uma intensidade de ciclagem de nutrientes maior nos perfis onde os teores foram menores, aliada a posição do perfil dentro da toposequência. HUANG & SCHOENAU (1996) realizaram estudos em perfis de solos reflorestados com *Populus tremuloides* e constataram que grande parte da assimilação de fósforo se processou no piso da floresta. Sugerindo assim a importância do material vegetal que se acumula no piso da floresta como fornecedor de elementos minerais para o crescimento das espécies florestais.

O valor do coeficiente de correlação linear obtido entre a digestão total e a extração com ácido clorídrico para o fósforo foi de $-0,39$. Com a análise de rotina (extrator de Mehlich - tabela 2), não se conseguiu detectar diferença nos teores entre os quatro perfis estudados, caracterizando-se por serem semelhantes estatisticamente. O coeficiente de correlação obtido entre a digestão total e análise de rotina foi de $0,35^*$.

A quantidade de argila presente nos solos também influencia os teores de fósforo que são extraídos por diferentes métodos conforme BRAIDA et al (1996) quando avaliaram os teores de fósforo em amostras da camada superficial de dez solos com ampla variação textural em solos cultivados com trigo por 40 meses em casa de vegetação. Foram testados vários métodos de determinação de fósforo no solo para as plantas: duplo ácido (Mehlich-1), método da resina e P-difusão (papel filtro impregnado com óxido de ferro). Verificaram que o método de Mehlich-1 foi

o mais afetado pelo teor de argila e que os outros dois métodos podem ser aplicados independentemente do tipo de solo, porém são mais laboriosos que o método de Mehlich-1.

A utilização de extratores diferentes neste estudo para a obtenção de fósforo extraído do solo registraram coeficientes opostos (extração com ácido clorídrico - 0,39* e extrator Mehlich 0,35*). Esta diferença conforme RAIJ (1987a) pode ser atribuída ao uso de extratores ácidos, pois o uso de soluções ácidas com pH em geral 2 a 3, assegura a dissolução de fosfato de cálcio e os fosfatos de ferro e alumínio que são solubilizados em menor grau. Argumentou então, que extratores ácidos não seriam a melhor opção para extrair fósforo de solos ácidos, principalmente nos solos brasileiros que se caracterizam por serem ácidos e ricos em óxidos de ferro e alumínio e caulinita, nos quais os produtos de reação de fósforo no solo são fosfatos de ferro e alumínio.

Em relação à profundidade, a extração com ácido clorídrico registrou no perfil 1 e no perfil 3 maiores teores nos primeiros centímetros, diminuindo com a profundidade (apêndice 2). No perfil 2, os valores apresentaram-se quase constantes, não sendo observado grandes variações entre os horizontes. No perfil 4 se observou maiores teores de fósforo em solução nos horizontes (C₁ e C₂), tendo o horizonte A, o segundo maior teor de fósforo solúvel e os horizontes intermediários valores quase uniformes. O extrator de Mehlich não registrou grandes variações nos teores solúveis de fósforo no solo em profundidade nos

perfis estudados, somente os primeiros centímetros dos quatro perfis apresentaram teores pouco mais elevados que os demais horizontes no perfil. VERDADE(1960b) utilizando também dois extratores diferentes na extração do fósforo solúvel, com oxalato e ácido sulfúrico 0,05N observou que o fósforo decrescia em profundidade para ambos os extratores, porém a extração com oxalato acompanhava melhor a seqüência do teor total que o ácido sulfúrico 0,05N, nos diversos solos no estado de São Paulo.

Nos solos estudados em profundidade observou-se (apêndice 2) que as extrações utilizadas (ácido clorídrico e extrator de Mehlich) extraíram teores baixos. Os valores baixos de fósforo extraídos em ambas as extrações são confirmados pelos teores constatados por RAIJ (1987a), da ordem de $0,1 \text{ mg.kg}^{-1}$, e são decorrentes da baixa solubilidade dos componentes de fósforo (os principais são os fosfatos de cálcio, ferro e alumínio) existentes no solo e da capacidade de adsorção do elemento pelas partículas do solo.

A diferença de resultados nos teores extraídos neste trabalho é salientada por RAIJ (1987a) e relatada como consequência dos processos de extração, que fornecem resultados diferentes e dificultam a comparação, gerando inúmeros métodos de extração e falta de concordância sobre o qual seria mais adequado.

B) Potássio

Na tabela 4 pode-se observar os valores de potássio total para a profundidade de 20 cm. Constatou-se que a digestão total registrou maiores teores para o perfil 4, com acentuada diferença em relação aos demais perfis. Os perfis 1, 2 e 3 registraram menores teores e foram estatisticamente semelhantes, porém o perfil 3, foi o que registrou o menor teor total. Em profundidade (apêndice 2) a digestão total do solo para o potássio, mostrou comportamento semelhante para os quatro perfis, pois os teores aumentavam a medida que se aproximava dos horizontes mais profundos.

Tabela 4. Valores médios de potássio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Extrator Mehlich (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|--|--|--|
| 1 | 45.52 a | 86.67 a | 46.92 a | 11849.06 a |
| 2 | 30.50 b | 59.17 b | 25.41 b | 10037.27 a |
| 3 | 31.42 b | 58.75 b | 28.15 b | 8803.69 a |
| 4 | 34.00 b | 71.67 c | 34.41 b | 18900.12 b |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

O aumento de teores nos horizontes mais profundos indicam a presença de minerais primários como micas e feldspatos e de acordo com RAIJ (1987b) os altos

teores de potássio sugerem que estão firmemente retidos nesses minerais. Essa retenção de acordo com NACHTIGALL & VAHL (1989) representa que o elemento está contido na estrutura cristalina dos minerais primários e secundários.

Na tabela 5 se observa a amplitude de variação do potássio em profundidade. Observou-se que os perfis 1, 2 e 3 registraram os menores teores de potássio e o solo do perfil 4 conteve os maiores teores de potássio, diferindo consideravelmente dos demais perfis. Estes maiores teores de potássio totais no perfil 4 podem ser atribuídos ao material de origem e ou ao grau de desenvolvimento dos solos, pois conforme observaram NACHTIGALL & VAHL (1989) a diminuição do teor de

Tabela 5. Amplitude de variação do potássio em profundidade, nos perfis estudados. sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ác. cítrico 1% | | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | | Extrator Mehlich (mg.kg ⁻¹) | | Digestão total (mg.kg ⁻¹) | |
|--------|----------------|------|---|-------|---|-------|---------------------------------------|----------|
| | 15.0 | 35.6 | 65.0 | 75.0 | 3.91 | 50.83 | 10930.16 | 21439.11 |
| 1 | 15.0 | 35.6 | 65.0 | 75.0 | 3.91 | 50.83 | 10930.16 | 21439.11 |
| 2 | 13.5 | 32.5 | 42.5 | 75.0 | 3.91 | 31.28 | 9832.50 | 15615.92 |
| 3 | 9.5 | 42.5 | 30.0 | 85.0 | 3.91 | 46.92 | 8358.19 | 18371.40 |
| 4 | 12.0 | 36.0 | 45.0 | 100.0 | 3.91 | 35.19 | 19761.69 | 94154.46 |

potássio ocorria na razão inversa do grau de desenvolvimento do solo, isto é, o solo menos desenvolvido geneticamente possuía mais potássio total do que aquele que era mais desenvolvido. VERDADE (1960a) analisando diversos solos no Estado de São Paulo encontrou teores totais de potássio mais elevados em solos que

apresentavam material de origem à pequena profundidade, sugerindo assim um solos menos desenvolvido, as percentagens variaram de 0 a 10.000 mg/kg de potássio.

Ainda em relação ao potássio total SILVA et al (1995) estudando o quanto as frações do solo em dois latossolos, contribuem no fornecimento do nutriente, observaram que a fração argila por estar em maior concentração no solo continha a maior parte do potássio total (74%).

A extração do potássio com ácido cítrico (tabela 4) na profundidade até 20 cm registrou maiores teores para o perfil 1, diferindo consideravelmente dos demais, sendo que o perfil 2 e 3 tiveram teores semelhantes, aumentando os seus teores no perfil 4, sendo ainda semelhante estatisticamente aos perfis 2 e 3. O coeficiente linear simples obtido entre a digestão total e o ácido cítrico não foi significativo (0,08). A extração com ácido clorídrico (tabela 4) revelou maiores teores no perfil 1, diminuindo relativamente nos perfis 2 e 3, e aumentando novamente no perfil 4. O coeficiente de correlação linear entre a digestão total e a extração com ácido clorídrico foi de 0,32 ns. Na extração realizada sob análise de rotina (extrator de Mehlich -tabela 4) os maiores teores obtidos encontram-se no perfil 1, diferindo estatisticamente, havendo um pequeno aumento de teores do perfil 2 em direção ao perfil 4. O coeficiente obtido neste caso, foi 0,21 ns.

MELO et al (1995a) em povoamentos de *Eucalyptus saligna* observaram que os teores disponíveis foram bastante variáveis entre os solos estudados, em

decorrência principalmente, das diferenças entre as rochas de origem dos solos. Nos diferentes tipos de solos encontraram teores de 6,5 mg/kg a 122 mg/kg de potássio, pelo método de Mehlich-1. Os teores extraídos pelo método de Mehlich neste estudo também se encontram nos limites encontrados por MELO et al (1995a).

Observa-se que nos primeiros 20 cm do perfil para os quatro perfis estudados, as extrações utilizadas registraram comportamento semelhante quanto aos teores de potássio em cada perfil. Registrou-se também coeficientes baixos e não significativos estatisticamente. No entanto, NACHTIGALL & VAHL (1989) conseguiram coeficiente de correlação de 0,72 quando correlacionaram potássio total com potássio trocável, utilizando NH_4OAc pH 7,0 como solução extraível e ácido fluorídrico mais ácido perclórico para o potássio total.

Provavelmente as extrações empregadas neste estudo não sejam as mais indicadas para extração do potássio no solo. Confirmando assim as observações de PRATT (1965) onde os teores de potássio extraídos com ácidos dependerão da natureza da solução extratora.

Em relação aos teores de potássio obtidos através das extrações em profundidade (apêndice 2) observou-se que os maiores teores de potássio encontraram-se somente nos primeiros centímetros, decrescendo a medida que se avança em profundidade no perfil. RAIJ (1987b) também encontrou concentrações baixas de potássio, no entanto observou que é um elemento altamente móvel,

baixas de potássio, no entanto observou que é um elemento altamente móvel, favorecendo a absorção pelas raízes das plantas.

Não se registrou neste estudo, comportamento das extrações que acompanhasse os teores de digestão total, observando-se pouca variação dos teores segundo a profundidade.

C) Cálcio

Os teores totais de cálcio na profundidade de 20 cm foram maiores no perfil 1, diferindo estatisticamente dos demais. Os perfis 2, 3 e 4 apresentaram-se estatisticamente semelhantes.

Em relação ao cálcio na solução do solo, os teores extraídos com ácido cítrico para a profundidade de 20 cm (tabela 6), foram maiores no perfil 1 e os menores teores encontrados estão no perfil 4. Já os perfis 2 e 3 foram semelhantes estatisticamente. O coeficiente de correlação entre a digestão total e a extração com ácido cítrico foi significativo 0,62*. Pode-se visualizar esta relação na figura 3. A extração com ácido clorídrico registrou maiores teores de cálcio para o perfil 1, e para o perfil 4 os menores teores.

Os teores totais de cálcio em profundidade apresentaram algumas semelhanças com as extrações quanto à diminuição em profundidade, nos perfis 1 e 2 encontraram-se os maiores teores nos primeiros centímetros, e nos demais

perfis os maiores teores registrados se localizavam em horizontes intermediários dentro do perfil.

Tabela 6. Valores médios de cálcio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|--|--|
| 1 | 5.63 a | 26.00 a | 199.75 a |
| 2 | 4.80 ab | 18.32 b | 140.43 b |
| 3 | 3.45 bc | 12.93 bc | 125.80 b |
| 4 | 2.48 c | 13.02 c | 124.79 b |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

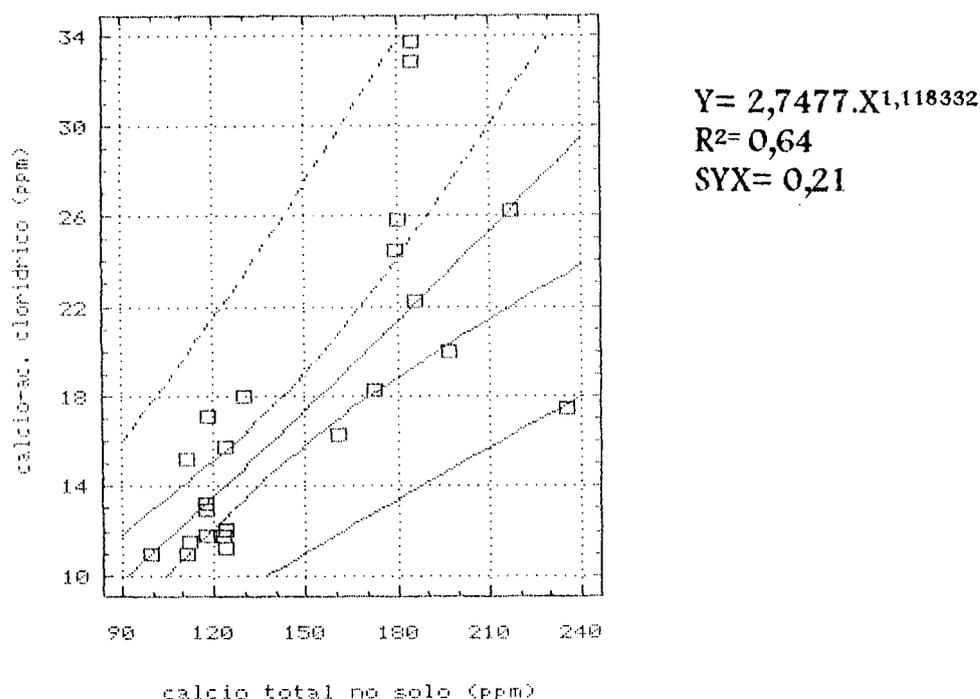


FIGURA 3: Relações entre o cálcio extraído com ácido clorídrico e o teor total de cálcio no solo na profundidade de 0-20 cm.

A amplitude dos teores totais de cálcio (tabela 7) variaram de 123,09 a 222,55 mg.kg⁻¹ (0,012% a 0,022% respectivamente), sendo que no perfil 3 pode-se registrar os maiores teores em amplitude. Nos perfis 1, 2 e 3 encontraram-se amplitudes semelhantes. VERDADE (1960a) analisando teores de cálcio em solos do Estado de São Paulo constatou teores variando de 0,2% a 0,8%, maiores que os teores encontrados neste estudo, indicando assim que os solos dos perfis estudados, possuem baixos teores totais de cálcio.

Ocorreu uma diminuição dos teores do perfil 1 para o perfil 4. Neste caso o coeficiente de correlação foi significativo e um pouco maior, 0,73. Constatou-se comportamento semelhante dos teores de cálcio para ambas extrações, registrando maiores teores no perfil 1 e diminuindo até atingir o perfil 4.

Tabela 7. Amplitude de variação do cálcio em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ác. cítrico 1% | | Ác. clorídrico 10% | | Digestão total | |
|--------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|--------|
| | (mg.kg ⁻¹) | | (mg.kg ⁻¹) | | (mg.kg ⁻¹) | |
| 1 | 1.62 | 7.31 | 7.31 | 33.74 | 123.09 | 211.12 |
| 2 | 2.75 | 11.81 | 11.81 | 22.21 | 124.38 | 186.10 |
| 3 | 1.31 | 7.30 | 7.30 | 18.27 | 148.12 | 222.55 |
| 4 | 0.56 | 5.60 | 5.06 | 16.30 | 123.83 | 180.42 |

A concentração de cálcio na solução do solo está entre 8 e 45 mg.Kg⁻¹, e freqüentemente uma média de 33 mg.Kg⁻¹, segundo TISDALE et al (1975) e

estando em contato com a raiz, sendo mais alta do que o necessário para o crescimento da mesma. Observando-se os teores da tabela 7 na qual se encontra a amplitude de variação do cálcio, constatou-se que das extrações realizadas, a extração com ácido clorídrico se enquadrou melhor nos limites sugeridos por TISDALE et al (1975). A extração com ácido cítrico apresentou valores bem menores que a extração ácido clorídrico. Isto pode ser atribuído ao poder de extração do ácido assim como a diluição utilizada para a extração. Os teores em profundidade nos perfis estudados (apêndice 2) se caracterizaram por apresentarem maiores teores de cálcio nos primeiros centímetros dos perfis, tanto para a extração com ácido cítrico como para a extração com ácido clorídrico, ocorrendo em geral diminuição dos teores em profundidade.

Em relação à análise de rotina (extração com KCl 1N) que não aparece correlacionada, não foi possível detectar os teores de cálcio nos horizontes inferiores. Neste aspecto, NOVAIS et al (1990) ressaltaram que muitos solos utilizados para plantio de eucalipto apresentam valores muito baixos nos horizontes superficiais e menores ainda ou não detectáveis em análise de rotina em horizontes subsuperficiais.

D) Magnésio

Os teores totais de magnésio observados para a profundidade de 20 cm (tabela 8) foram maiores nos perfis 1 e 4, sendo que são semelhantes

estatisticamente, já nos perfis 2 e 3 os teores foram menores, porém são diferentes estatisticamente. O perfil 3 registrou o menor teor de magnésio total. Esses teores

Tabela 8. Valores médios de magnésio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0 -20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác.clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Anál. rotina (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|---|--|--|
| 1 | 14.17 a | 105.76 a | 22.23 a | 1072.19 a |
| 2 | 10.57 b | 59.73 b | 14.21 a | 888.12 b |
| 3 | 11.08 b | 43.48 c | 20.29 a | 790.24 c |
| 4 | 11.33 b | 47.60 c | 16.16 a | 1112.96 a |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

apresentaram amplitude (tabela 9) de 741,84 mg.Kg⁻¹ (0,074%) a 2304,20 mg.Kg⁻¹ (0,2304%). diferindo dos valores encontrados por VERDADE (1960a) variando de 0,22% a 1,80%. Provavelmente esses menores teores encontrados nos solos deste estudo em relação aos obtidos por VERDADE (1960a) decorreram dos menores teores de magnésio que o material de origem apresentava quando originou o solo em estudo e ou dos processos de lixiviação e esgotamento de nutrientes do solo.

Tabela 9. Amplitude de variação do magnésio em profundidade, nos perfis estudados. sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ác. cítrico 1% | | Ác. clorídrico 10% | | Anal. rotina | | Digestão total | |
|--------|------------------------|-------|------------------------|--------|------------------------|-------|------------------------|---------|
| | (mg.kg ⁻¹) | | (mg.kg ⁻¹) | | (mg.kg ⁻¹) | | (mg.kg ⁻¹) | |
| 1 | 7.14 | 15.63 | 49.35 | 151.48 | 24.30 | 36.45 | 997.02 | 1280.25 |
| 2 | 5.39 | 11.49 | 52.99 | 79.70 | 24.30 | 24.30 | 794.45 | 1202.08 |
| 3 | 4.49 | 13.89 | 31.46 | 54.22 | 24.30 | 24.30 | 741.84 | 1042.18 |
| 4 | 3.10 | 10.70 | 18.99 | 38.98 | 24.30 | 24.30 | 1064.14 | 2304.20 |

Na digestão total pode-se constatar um comportamento mais próximo a extração com o ácido clorídrico, variando os teores totais de magnésio com a profundidade (apêndice 2).

Os teores de magnésio na solução do solo na profundidade de 20 cm (tabela 8) extraídos com ácido cítrico foram maiores no perfil 1 e os demais perfis apresentaram teores de magnésio muito semelhantes entre si, não diferindo estatisticamente. O coeficiente de correlação entre a digestão total e a extração com ácido cítrico foi 0,34 ns. Na extração com ácido clorídrico na profundidade de 20 cm verificou-se grande diferença nos teores entre os perfis com uma diferença em torno de 50 mg.kg⁻¹ a mais para o perfil 1 em relação aos demais perfis. O coeficiente de correlação obtido foi significativo 0,43.

Na análise de rotina (KCl 1N) os teores extraíveis encontrados se caracterizaram por serem estatisticamente semelhantes. O coeficiente de correlação linear neste caso não foi significativo (-0,15). Observou-se que as

extrações com ácido cítrico e ácido clorídrico registraram maiores valores para o perfil 1 e para os demais perfis o comportamento foi muito próximo, não diferindo muito nos teores extraídos entre os perfis para ambas as extrações. A análise de rotina diferiu consideravelmente das demais extrações, não registrando diferença nos teores de magnésio entre os quatro perfis estudados.

Observando-se ainda a tabela 8 verificou-se que a extração com ácido clorídrico está de acordo com os limites estipulados por TISDALE et al (1975). O uso de diferentes extratos para conhecer os teores na solução dificultam o estabelecimento de padrões, pois um solo poderia ser classificado como deficiente ou não em relação aos teores de magnésio dependendo da extração que se emprega para o conhecimento deste teores e também das exigências nutricionais que a espécie requer para seu crescimento.

Na tabela 9 observa-se que a extração com ácido clorídrico registrou teores entre 18,99 a 152,48 mg.Kg⁻¹ e a extração com ácido cítrico registrou teores entre 3,10 a 15,63 mg.Kg⁻¹. Os teores encontrados neste estudo, principalmente na extração com ácido clorídrico estão mais próximos aos observados por TISDALE et al (1975), entre 30 a 100 mg.Kg⁻¹. Entretanto, alertaram que solos com 25 a 50 mg.Kg⁻¹ de magnésio são classificados como solos deficientes, notadamente em solos ácidos, arenosos e altamente lixiviados, não sendo suficientes para o crescimento da planta.

Em profundidade a extração com ácido cítrico demonstrou maiores teores nos primeiros centímetros dos perfis diminuindo gradativamente com a profundidade. Esta mesma tendência não pôde ser observada para a extração com ácido clorídrico, variando na extensão do perfil, porém com os menores teores nos últimos horizontes de cada perfil. Quanto à análise de rotina (extração KCl 1N) observa-se valores aproximadamente constantes para os perfis analisados.

MELO et al (1995b) utilizando dois tipos de extratores para o magnésio, ácido nítrico e ácido sulfúrico em diferentes perfis de solo, registraram que o magnésio aumentava com a profundidade em alguns perfis estudados, para ambas as extrações. Já em outros perfis a extração com ácido nítrico registrava valores maiores nos horizontes superficiais, diferindo da extração com ácido sulfúrico.

E)Ferro

Na profundidade de 20 cm (tabela 10), os teores totais de ferro foram estatisticamente diferentes nos quatro perfis, sendo que os maiores teores totais foram observados no perfil 4 e os menores teores no perfil 3. Em relação à distribuição no perfil (apêndice 2), verificou-se distribuição irregular com a profundidade, com exceção do perfil 4, onde ocorreu uma tendência de aumento nos teores totais com a profundidade. Esta distribuição do ferro total no perfil do solo foi verificada também em alguns solos por HODGSON ¹ (1963) citado por

¹ HODGSON, J.F. Micronutrients in soils. *Adv. agron.*, 15: 119-159, 1963.

CAMARGO (1988) e foi atribuída às diferenças nos teores de argila. CAMARGO (1988) verificou que nem sempre ocorre correlação entre o teor de ferro no material de origem e aquele presente no solo.

Na profundidade de 20 cm (tabela 10) os teores solúveis encontrados na extração com ácido cítrico, observou-se aumento de ferro do perfil 1 em direção ao perfil 4, sendo que neste perfil havia quase 500 mg.Kg⁻¹ de ferro a mais em relação ao perfil 1. Já os perfis 1, 2 e 3 não apresentaram diferença significativa. O coeficiente de correlação linear obtido foi significativo 0,47. Na extração com ácido clorídrico os perfis 2 e 4 registraram os maiores teores de ferro, se caracterizaram por serem estatisticamente semelhantes e os perfis 1 e 3 os menores teores de ferro, sendo também estatisticamente semelhantes. O coeficiente de correlação foi de 0,64.

Tabela 10. Valores médios de ferro, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác.clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|---|--|
| 1 | 827.70 a | 13800.45 ab | 25727.91 a |
| 2 | 751.03 a | 16766.66 ac | 27041.40 b |
| 3 | 901.07 a | 11942.19 b | 20787.68 c |
| 4 | 1326.00 b | 18643.45 c | 30745.32 d |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Em relação a distribuição de ferro solúvel no perfil do solo CAMARGO (1988) acrescentou a influencia do pH, condições redox e a presença da matéria orgânica. Esses fatores podem ser constatados em alguns dos perfis estudados, como por exemplo os perfis 1 e 4, que apresentaram os menores teores extraíveis de ferro (ácido clorídrico) nos horizontes onde a presença da matéria orgânica, forma complexos de estabilidade de acordo com IRVING & WILLIAMS (1948) citados por CAMARGO (1988), e onde o pH apresentava valores ligeiramente menores nos horizontes que compunham os perfis. Entretanto, esses parâmetros já não podem ser aplicados à extração com ácido cítrico, na qual se verifica comportamento exatamente inverso, ocorrendo maiores teores de ferro nos horizontes superficiais.

Na tabela 11 pode-se verificar a amplitude dos valores encontrados para o ferro extraído com ácido cítrico e ácido clorídrico. Esses valores possibilitaram ampla faixa de disponibilidade de ferro, indicando que o pH nos solos estudados propiciam maior disponibilidade de ferro.

Tabela 11. Amplitude de variação do ferro em profundidade, nos perfis estudados. sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | | Ác.clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | | Digestão total (mg.kg ⁻¹) | |
|--------|--|---------|---|----------|--|----------|
| 1 | 127,98 | 834,73 | 8995,69 | 18646,50 | 24371,92 | 36846,92 |
| 2 | 149,91 | 539,91 | 9219,91 | 24298,36 | 26517,57 | 39758,71 |
| 3 | 94,99 | 794,87 | 5745,42 | 15130,57 | 20871,68 | 34212,50 |
| 4 | 42,99 | 1174,95 | 9547,07 | 25918,16 | 30286,44 | 48861,87 |

MURAOKA & MALAVOLTA (1985) estabeleceram limite de disponibilidade do ferro nos solos, podendo chegar da ordem de 1000 mg.kg^{-1} em pH 6,3 decrescendo a $3,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$ quando o pH é 7,5; sendo que a maior faixa de disponibilidade do ferro, está entre pH 4,0 e 6,0. Aplicando-se esta faixa de pH nos solos estudados (apêndice 4), observou-se grande possibilidade de maior disponibilidade de ferro nestes solos.

Nos perfis analisados, houve uma tendência de diminuição nos teores, com o aumento da profundidade (apêndice 2) na extração com ácido cítrico, no entanto, na extração com ácido clorídrico este comportamento foi inverso.

F) Manganês

Na profundidade até 20 cm (tabela 12) os maiores teores totais de manganês foram constatados no perfil 1, sendo estatisticamente diferentes dos demais, e nos perfis 3 e 4 foram registrados os menores teores, sendo inclusive estatisticamente semelhantes. Na tabela 13 observa-se a amplitude dos teores totais de ferro que variaram entre 74,19 a $187,84 \text{ mg.Kg}^{-1}$ nos perfis estudados. Esses valores se apresentaram na faixa de teores totais observados por LINDSAY (1979) citado por CAMARGO (1988) variando de 20 a 3000 mg.Kg^{-1} , com valor médio de 600 mg.Kg^{-1} e também dos valores observados por MURAOKA & MALAVOLTA (1985) de 19 a 2395 mg.Kg^{-1} e valores médios de 430 mg.Kg^{-1} em amostras superficiais em solos do Estado de São Paulo.

Quanto à distribuição em profundidade do teor total do manganês (apêndice 2) observou-se variação mínima dos teores totais, com exceção do perfil 1 que apresentou distribuição irregular com a profundidade. Esse comportamento foi também constatado por VALADARES & CAMARGO (1983) estudando solos do Estado de São Paulo onde observaram quatro padrões de distribuição do manganês total: a) diminuição com aumento da profundidade; b) aumento com a profundidade

Tabela 12. Valores médios de manganês, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|--|--|
| 1 | 56.26 a | 91.59 a | 165.57 a |
| 2 | 35.02 b | 56.38 b | 128.08 b |
| 3 | 7.38 c | 20.24 c | 79.21 c |
| 4 | 4.08 c | 19.24 c | 85.80 c |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

c) variação mínima com a profundidade e d) distribuição irregular com a profundidade. No entanto, VERDADE (1960b) também no Estado de São Paulo observou quantidades relativamente baixas e que o teor diminuía com a profundidade.

Tabela 13. Amplitude de variação do manganês em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ac. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | | Ac. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | | Digestão total (mg.kg ⁻¹) | |
|--------|--|-------|--|-------|--|--------|
| 1 | 2.10 | 67.92 | 22.24 | 98.20 | 93.64 | 187.84 |
| 2 | 18.39 | 35.39 | 37.75 | 61.72 | 114.30 | 133.84 |
| 3 | 2.10 | 8.80 | 17.49 | 23.74 | 74.19 | 109.41 |
| 4 | 0.70 | 4.00 | 11.24 | 42.49 | 98.82 | 118.57 |

Em relação aos teores extraíveis na profundidade até 20 cm (tabela 12) observa-se que a extração com ácido cítrico registrou teores mais elevados no perfil 1. Já os perfis 3 e 4 apresentaram os menores resultados e não foram estatisticamente diferentes. Há uma diferença notável quando se compara os perfis 1 e 2 com os perfis 3 e 4, uma queda acentuada de teores de manganês, principalmente do perfil 1 em relação ao perfil 4. O coeficiente de correlação obtido foi significativo 0,97.

A extração com ácido clorídrico registrou valores decrescentes do perfil 1 até o perfil 4. Nos perfis 3 e 4 não se verificou variação significativa em seus teores. Há uma diferença de 80 ppm a mais de manganês para o perfil 1 em relação ao perfil 4, valor este que pode ser atribuído a ciclagem de nutrientes diferenciada em cada perfil da toposequência. O coeficiente de correlação obtido foi também significativo, 0,97. Esta relação pode ser visualizada na figura 4. VALADARES e CAMARGO (1983) analisando os teores de manganês em horizontes superficiais, obtiveram coeficientes de correlação $r=0,69^{**}$ e $r=0,87^{**}$ entre os

teores de manganês total e os de manganês extraído pela solução de DTPA e de mistura ácida (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) respectivamente.

Pode-se observar que em ambas as extrações utilizadas neste estudo houve comportamento semelhante para os perfis, maiores teores no perfil 1, diminuindo no perfil 2 e caindo acentuadamente nos perfis 3 e 4, sendo que estes se mostraram estatisticamente semelhantes nas extrações utilizadas.

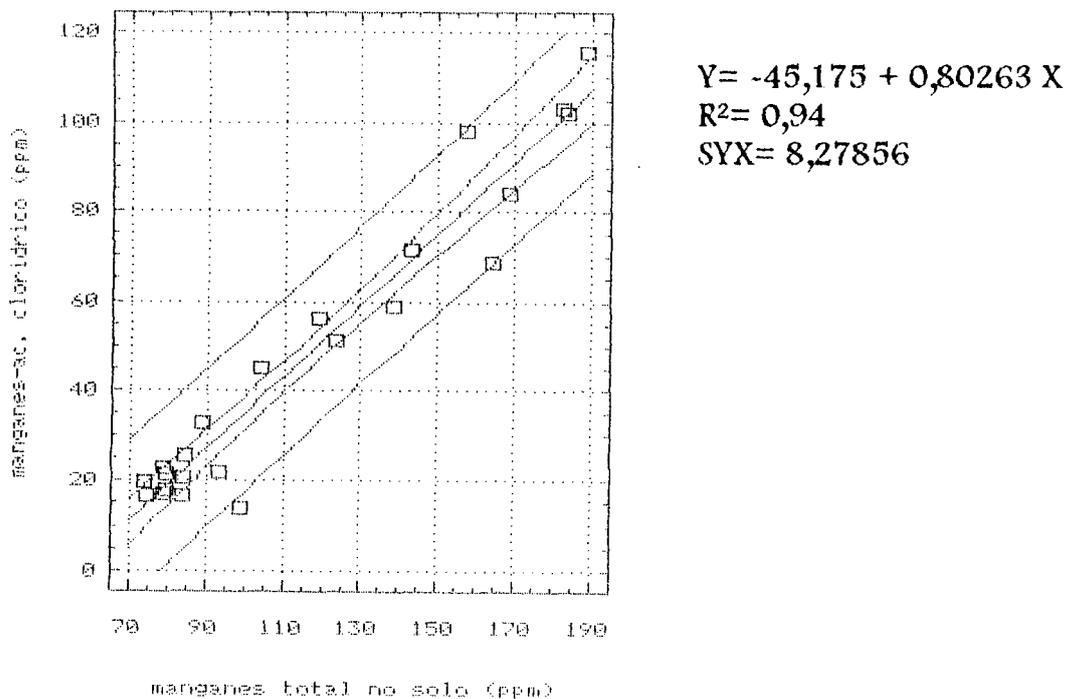


FIGURA 4: Relações entre o manganês extraído com ácido clorídrico e o manganês total no solo na profundidade de 0-20 cm.

De certa forma as correlações encontradas neste estudo do manganês - extração com ácido cítrico (0,96) e ácido clorídrico (0,97) com o manganês total

confirmaram os resultados obtidos com a mistura ácida utilizada por VALADARES & CAMARGO (1983), pois os dois extratores utilizados neste estudo caracterizaram-se por serem ácidos, influenciando assim na quantidade de manganês disponível em função do pH.

A amplitude dos teores de manganês solúvel (tabela 13) encontrada utilizando ácido cítrico no horizonte superficial variou de 4,00 a 67,92 mg.Kg⁻¹ e com ácido clorídrico de 13,74 a 98,20 mg.Kg⁻¹. Essa amplitude de teores se enquadraram na faixa de variação encontrada por CAMARGO (1988) de 0,8 a 193 mg.Kg⁻¹ com a mistura ácida (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N), nos teores encontrados por LOPES (1983) citado por CAMARGO (1988) com amplitude de 0,6 a 92,2 mg.Kg⁻¹, utilizando HCl 0,1N como extrator, e também MURAOKA & MALAVOLTA (1985) que encontraram teores variando de 0,4 a 193,10 mg.Kg⁻¹, com valores médios de 27 mg.Kg⁻¹, utilizando DTPA.

Em profundidade (apêndice 2) a extração com ácido cítrico os teores de manganês solúvel diminuíram, com exceção do perfil 3 que apresentou distribuição irregular com a profundidade. Na extração com ácido clorídrico se constatou distribuição irregular com a profundidade nos perfis 1,2 e 3, somente no perfil 4 houve aumento do manganês solúvel com a profundidade.

G) Zinco

Os teores totais de zinco na profundidade de 20 cm (tabela 14) apontaram maiores teores totais para o perfil 1, sendo que os perfis 2 e 3 apresentaram os menores valores. A distribuição de zinco total no perfil se caracterizou por variação mínima com a profundidade para os perfis 3 e 4 e houve uma distribuição irregular com a profundidade para os perfis 1 e 2.

Em relação ao zinco extraído com ácido cítrico na profundidade 20 cm (tabela 14) constatou-se que não foi possível detectar diferenças significativas nos perfis 1, 2 e 3. Já o perfil 4 diferiu significativamente dos perfis 2 e 3, porém muito semelhante ao perfil 1. Não houve correlação linear significativa entre o zinco total e o zinco extraído com ácido cítrico.

Tabela 14. Valores médios de zinco, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|--|--|
| 1 | 0.66 ab | 4.58 a | 33.79 a |
| 2 | 0.63 a | 3.29 b | 23.13 b |
| 3 | 0.79 a | 2.54 c | 25.58 bc |
| 4 | 0.56 b | 2.62 c | 28.87 ac |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

A extração com ácido clorídrico registrou os maiores teores para o perfil 1, diferindo estatisticamente dos demais perfis; e os menores teores foram encontrados nos perfis 3 e 4, que não apresentaram diferença significativa. O coeficiente de correlação neste caso foi significativo, 0,51. Valor semelhante foi encontrado por CAMARGO (1988) quando correlacionou os teores totais de zinco com HCl 0,1N como extrator, foi de 0,54.

Comparando-se o comportamento de ambas as extrações utilizadas neste estudo, verificou-se que os resultados obtidos com a extração ácido cítrico, registrando um coeficiente negativo (-0,14 ns), foi inverso à extração com ácido clorídrico apresentando coeficiente positivo e significativo (0,51*). De certa forma este resultado pode indicar que a extração com ácido cítrico não foi tão eficiente para extrair os teores de zinco do solo como a extração com clorídrico, portanto a menos indicada para tal finalidade.

A amplitude dos teores de zinco total nos solos estudados (tabela 15) ficou entre 19,63 a 44,60 mg.kg⁻¹, estando na faixa de concentração de zinco total encontrada por CAMARGO (1988) que variou de 10 a 300 mg.Kg⁻¹ nos diversos solos, com média de 50 mg.Kg⁻¹ e por MURAOKA & MALAVOLTA (1985) em amostras superficiais de solo no Estado de São Paulo variando de 1,0 a 315,3 mg.Kg⁻¹ com valor médio de 67 mg.Kg⁻¹, porém em solos derivados de sedimentos arenosos a média ficava próxima a 7,9 mg.Kg⁻¹.

Tabela 15. Amplitude de variação do zinco em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | | Digestão total (mg.kg ⁻¹) | |
|--------|--|------|--|------|--|-------|
| 1 | 0.30 | 1.10 | 2.00 | 4.00 | 19.63 | 39.39 |
| 2 | 0.20 | 0.55 | 1.50 | 4.00 | 19.86 | 44.60 |
| 3 | 0.10 | 0.80 | 1.50 | 3.00 | 29.59 | 29.83 |
| 4 | 0.10 | 0.80 | 1.50 | 3.25 | 24.71 | 29.86 |

SANTOS FILHO (1983) estudando zinco total em alguns latossolos, observou que os maiores teores de zinco total ocorreram em basalto (140-250 mg/kg) e os menores teores de zinco total nos solos derivados de arenito (18-38 mg/kg). Nos diferentes tipos de solos originados da mesma rocha, também ocorreram diferenças nos teores de zinco. Os menores valores de zinco corresponderam aos solos com menor desenvolvimento morfológico e genético.

Na amplitude dos teores extraídos (tabela 15) para a extração com ácido cítrico os valores se estabeleceram entre 0,10 e 1,10 mg.Kg⁻¹ e para a extração com ácido clorídrico os teores observados variaram de 1,50 a 4,0 mg.Kg⁻¹. Os teores constatados neste estudo se assemelham aos valores encontrados por CAMARGO (1988) de valores abaixo de 0,05 a 7,30 mg.Kg⁻¹, utilizando HCl 0,1N.

Os teores de zinco extraídos com ácido cítrico e ácido clorídrico nas diferentes profundidades nos solos estudados (apêndice 2) registraram variação mínima com a profundidade, apresentando-se o horizonte superficial com maiores

teores. Esse comportamento também foi observado por VALADARES (1972) citado por CAMARGO (1988) encontrando um decréscimo sensível de zinco solúvel em HCl 0,1N em profundidade. Entretanto, em alguns solos, como a Terra Roxa Estruturada, chega a passar de aproximadamente $7,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$ no horizonte A_1 para $0,50 \text{ mg.Kg}^{-1}$ no horizonte B_{22} .

O comportamento do zinco em profundidade foi analisado por CAMARGO (1988) constatando que a retenção do zinco no solo depende principalmente dos teores de matéria orgânica, óxidos de ferro, alumínio e manganês e minerais de argila; além da presença do íon fosfato, que interfere na adsorção do zinco em superfícies de óxidos.

H) Cobre

Na profundidade de 20 cm os teores totais de cobre (tabela 16) observados foram maiores no perfil 4 e o menor teor total foi registrado no perfil 2. Observou-se um aumento do teor de cobre do perfil 1 em direção ao perfil 4.

Em profundidade (apêndice 2) constatou-se que os valores totais nos perfis 1 e 2 diminuíram com a profundidade; no perfil 3 houve variação irregular com a profundidade e no perfil 4 variação mínima com a profundidade.

Na extração com ácido cítrico os teores de cobre variaram de 0,10 a 0,40 mg.Kg^{-1} e para a extração com ácido clorídrico os teores variaram de 3,00 a 5,25 mg.Kg^{-1} . Esses teores encontrados nos solos estudados se aproximam dos teores

encontrados por LOPES (1983) citado por CAMARGO (1988) em solos sob cerrados, cujas concentrações variaram de traços a $9,7 \text{ mg.Kg}^{-1}$ de cobre,

Tabela 16. Valores médios de cobre, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg^{-1}) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg^{-1}) | Digestão total (mg.kg^{-1}) |
|--------|---|---|---|
| 1 | 0.3583 a | 4.92 a | 12.34 ab |
| 2 | 0.3166 ab | 4.04 b | 10.74 a |
| 3 | 0.2666 bc | 3.33 b | 16.50 bc |
| 4 | 0.2166 c | 3.37 b | 19.80 c |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

utilizando HCl 0,1N. DANTAS et al (1978) citado por CAMARGO (1988) referiram-se a valores compreendidos entre traços e $3,75 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para solos da região do Agreste de Pernambuco.

Na profundidade de 20 cm a extração com ácido cítrico (tabela 16) extraiu maiores quantidades de cobre no perfil 1 diminuindo progressivamente até atingir o perfil 4. O coeficiente de correlação linear entre a digestão total e a extração com ácido cítrico foi $-0,48^*$. A extração com ácido clorídrico registrou maiores teores de cobre no perfil 1, diminuindo os teores a medida que se aproximava do perfil 4. O coeficiente de correlação linear foi de $-0,41^*$. Verificou-se que para ambas as extrações os teores solúveis foram relacionados inversamente com os teores totais

de cobre no solo, através do coeficiente negativo na relação. Não foi observado grande variação dos teores solúveis para os perfis estudados, tanto para extração com ácido cítrico e ácido clorídrico.

A amplitude dos teores totais de cobre encontrados nos solos estudados podem ser observados na tabela 17. Verificou-se que a média dos valores ficou em torno de $17,5 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Constatou-se que esse valor diferiu do teor médio de cobre total encontrado por diversos autores. Por exemplo: CAMARGO (1988) encontrou valores médios de 30 mg.Kg^{-1} , de zinco no solo. Entretanto, VALADARES (1975) citado por CAMARGO (1988) determinou valores que variaram em média, de $187,7 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para solos derivados de rochas básicas, até $8,7 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para solos derivados do Bauru e $7,0 \text{ mg.Kg}^{-1}$ para solos derivados de sedimentos recentes arenosos, concluindo que o material de origem foi fator preponderante no condicionamento dos teores de cobre total no solo.

Tabela 17. Amplitude de variação de cobre em profundidade, nos perfis estudados, sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg^{-1}) | | Ác. clorídrico 10% (mg.kg^{-1}) | | Digestão total (mg.kg^{-1}) | |
|--------|---|------|---|------|---|-------|
| 1 | 0,10 | 0,35 | 3,00 | 5,25 | 9,84 | 36,13 |
| 2 | 0,10 | 0,30 | 4,00 | 5,00 | 9,88 | 19,83 |
| 3 | 0,30 | 0,40 | 3,00 | 4,00 | 14,78 | 19,89 |
| 4 | 0,20 | 0,40 | 2,50 | 4,75 | 9,88 | 19,77 |

SANTOS FILHO & ROCHA (1982) observaram também que diferentes teores de cobre total nos solos estão relacionados com o material de origem. Os maiores teores de cobre foram encontrados em solos derivados de rochas eruptivas básicas (entre 90 a 140 mg/kg), teores intermediários nos solos derivados de migmatito, sedimentos argilosos e folhelhos argilosos (entre 20 a 75 mg/kg) e os menores valores nos solos derivados de arenitos (entre 10 a 20 mg/kg).

MURAOKA & MALAVOLTA (1985) encontraram valores médios de 189,5 mg.Kg⁻¹ com amplitude de 89,0 a 334,7 mg.Kg⁻¹ em solos derivados de rochas básicas e uma média 5,2 mg.Kg⁻¹ com amplitude de 3,4 a 6,9 em solos derivados de Arenito Bauru em horizontes superficiais de vinte e oito perfis do Estado de São Paulo. CAMARGO (1988) salientou que os sedimentos arenosos possuem baixos teores de cobre por apresentarem a fração grosseira constituída basicamente de quartzo, não apresentando portanto, minerais ricos em cobre. LOPES (1983) citado por CAMARGO (1988) e MURAOKA & MALAVOLTA (1985) observaram que os solos argilosos apresentam menores probabilidades de constituírem deficiência de cobre, enquanto solos arenosos com baixos teores de matéria orgânica, podem tornar-se deficientes em cobre em função das perdas por lixiviação.

Observando os teores encontrados pelos diversos autores e comparando-os ao valor dos solos estudados, verificou-se que os perfis apresentaram baixos teores de cobre, apesar de possuírem relativa quantidade de argila, característica importante na retenção de cobre. SANTOS FILHO & ROCHA (1982) constataram

que o cobre total está correlacionado positivamente com o teor de argila no solo.

Os resultados sugerem que o material de origem nos solos estudados neste trabalho continha baixos teores de cobre, originando assim solos com baixos teores, residindo assim na matéria orgânica a responsabilidade pelo suprimento de cobre às plantas.

D) Alumínio

Na profundidade até 20 cm (tabela 18) os teores totais de alumínio foram maiores no perfil 3. Os perfis 1, 2 e 3 tiveram os menores teores totais e ocorrendo pequena diferença estatística entre eles. Em profundidade (apêndice 2) registrou-se variação dos teores, no entanto, houve uma tendência dos teores de alumínio aumentarem com a profundidade.

Tabela 18. Valores médios de alumínio, por perfil, sob os diferentes métodos de análise química para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | Ác. clorídrico 10% (mg.kg ⁻¹) | Anál. rotina (mg.kg ⁻¹) | Digestão total (mg.kg ⁻¹) |
|--------|--|--|--|--|
| 1 | 2009.89 a | 12853.11 a | 370.38 a | 61940.92 a |
| 2 | 1637.52 b | 11119.24 b | 328.13 a | 59723.32 ab |
| 3 | 1692.31 b | 8380.72 c | 326.34 b | 54936.31 b |
| 4 | 2226.82 c | 8729.22 c | 400.05 b | 84635.54 c |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Duncan ao nível de 5%.

Em relação à extração com ácido cítrico, verificou-se que os teores solúveis encontrados na profundidade 0-20 cm, (tabela 18) são maiores para o perfil 4, e os menores teores para os perfis 2 e 3, sendo estes estatisticamente semelhantes. O coeficiente de correlação linear entre a digestão total do alumínio com a extração ácido cítrico foi 0,77*.

Na extração com ácido clorídrico observou-se maiores valores de alumínio nos perfis 1 e 2, com diferença estatística e menores teores nos perfis 3 e 4. Constatou-se uma diferença de aproximadamente 4000 mg.kg⁻¹ de alumínio a mais no perfil 1 em relação ao perfil 3 e 4. O coeficiente de correlação linear encontrado foi -0,21 ns.

$$Y = -3,9282 X^{0,47868}$$

$$R^2 = 0,6271$$

$$SYX = 0,06768$$

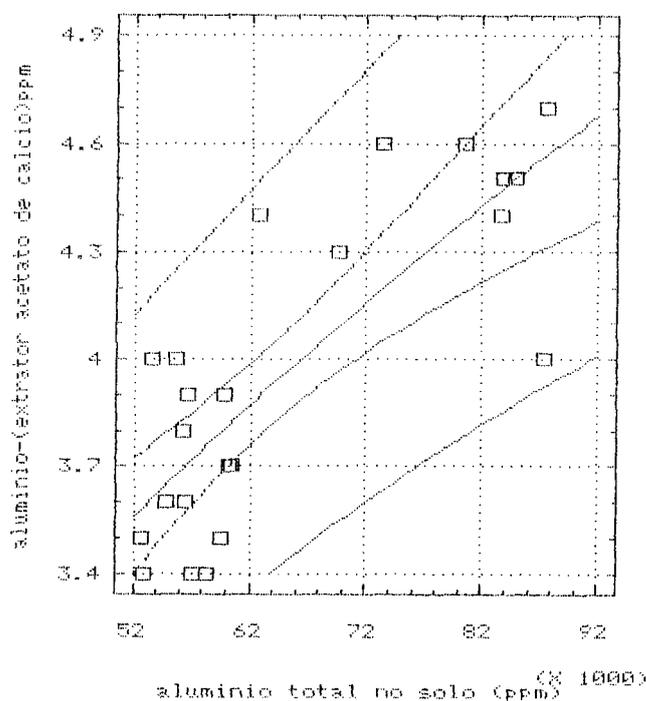


FIGURA 5: Relações entre o alumínio sob análise de rotina (extrator acetato de cálcio) e o teor total de alumínio no solo na profundidade de 0-20 cm.

A análise de rotina (acetato de cálcio) registrou maiores valores para o perfil 4, os perfis 2 e 3 tiveram valores muito próximos e o perfil 1, foi o que obteve o segundo maior valor. O coeficiente de correlação foi significativo, 0,79. Esta relação pode ser visualizada na figura 5 .

Na tabela 19 pode-se observar a amplitude de variação dos teores totais de alumínio, nos perfis dos solos estudados. Os teores totais nos perfis 1, 2 e 3 apresentaram valores próximos e o perfil 4 conteve os maiores teores totais de alumínio.

Tabela 19. Amplitude de variação do alumínio em profundidade, nos perfis estudados. sob os diferentes métodos de análise química.

| Perfi | Ác. cítrico 1% (mg.kg ⁻¹) | | Ác. clorídrico 10% (mg.Kg ⁻¹) | | Anal.rotina (mg.kg ⁻¹) | | Digestão total (mg.kg ⁻¹) | |
|-------|--|---------|--|----------|---------------------------------------|--------|--|-----------|
| 1 | 1261.90 | 2575.18 | 9403.73 | 23071.36 | 206.77 | 314.65 | 56967.79 | 91128.98 |
| 2 | 1351.14 | 1570.52 | 10903.18 | 21651.24 | 170.81 | 305.66 | 58248.15 | 79323.93 |
| 3 | 990.93 | 1561.78 | 7993.72 | 11260.04 | 179.80 | 350.61 | 56082.72 | 87785.50 |
| 4 | 775.69 | 1877.42 | 5230.67 | 9523.94 | 242.73 | 395.56 | 83641.98 | 135838.77 |

Em profundidade a distribuição dos teores de alumínio (apêndice 2) para a extração com ácido cítrico foi irregular nos perfis 1 e 2, e nos perfis 3 e 4 ocorreu diminuição dos teores com a profundidade. Na extração com ácido clorídrico observou-se que os teores aumentaram até uma profundidade do perfil e diminuíram nas partes mais profundas. Na análise de rotina os perfis 1, 2 e 3 registraram comportamento semelhante, diminuindo progressivamente os teores

de alumínio com a profundidade e no perfil 4 os teores tiveram distribuição irregular, porém com variação mínima.

J) Nitrogênio e Carbono

Na tabela 20 encontram-se os teores médios de nitrogênio para a profundidade de 20 cm. Conforme MENGEL & KIRKBY (1987) a determinação do nitrogênio apresenta maiores dificuldades que outros elementos, pois o nitrogênio do solo não é afetado pelas reações químicas e físicas do solo, dependendo muito mais dos processos biológicos. A determinação do nitrogênio total dá uma idéia do nitrogênio disponível. Os teores de nitrogênio total encontrados neste estudo são baixos. Segundo MARSCHNER (1986) com poucas exceções os solos ácidos minerais têm muito baixo níveis de nitrogênio total e disponível.

Tabela 20. Valores médios de nitrogênio e carbono para a profundidade de 20 cm.

| Perfil | C% | N% | C/N |
|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 2.15 a | 0.19 a | 11.31 |
| 2 | 2.08 a | 0.18 a | 11.56 |
| 3 | 2.82 b | 0.19 a | 14.84 |
| 4 | 2.46 c | 0.19 a | 12.95 |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Duncan ao nível de 5%.

Os teores de nitrogênio total se caracterizam por serem semelhantes estatisticamente, provavelmente seja decorrente da interação entre os microorganismos presentes no solo e as formas (mineralizadas e imobilizadas) contidas no solo, não avaliadas neste trabalho.

Quanto ao carbono observou-se que devido ao maior acúmulo de material orgânico nos primeiros centímetros dos perfis, os teores de carbono foram maiores nos 20 cm iniciais de todos os perfis, diminuindo progressivamente ao longo dos perfis. Os teores de carbono nos primeiros centímetros de cada perfil analisado, aumentam do perfil 1 em direção ao perfil 3, tendo um pequeno decréscimo no perfil 4.

É interessante observar que os teores de carbono no perfil 3 foi o maior, entre os quatro perfis estudados. O perfil 3 se posiciona na porção mais inclinada na toposeqüência, região normalmente com maior probabilidade de erosão e escoamento superficial de partículas de solo e de material orgânico. Provavelmente este perfil esteja recebendo material orgânico e partículas de solo do perfil 4 que se encontra na porção mais elevada da toposeqüência e contém menores teores de carbono.

A quantidade de matéria orgânica e nitrogênio no solo favorável ao crescimento das árvores é determinada pela relação C:N. PRICHETT (1979) salientou que o nitrogênio torna-se disponível para as árvores quando a relação C:N se aproxima de 10:1, ressaltando que essa relação é influenciada por fatores

climáticos e edáficos. Esta relação pode ser observada nos perfis estudados, indicando que pode haver disponibilidade de nitrogênio para as raízes na área em estudo.

L) pH

Na tabela 21 pode-se visualizar os resultados obtidos com os três métodos de análise de pH nos 20 cm de profundidade dos perfis. Observou-se que os valores do pH em CaCl_2 foram menores que as extrações com água e SMP. O pH em água e SMP obtiveram valores próximos, com pequeno aumento em relação aos valores do pH em SMP. Em profundidade (apêndice 4) constatou-se que o pH foi menor nos primeiros centímetros dos perfis, aumentando com a profundidade, principalmente nos perfis 3 e 4, nos três métodos utilizados. FRANÇA et al (1986) constataram que o pH influenciou na distribuição do sistema radicular de *E. saligna*.

Tabela 21. Valores médios de pH medido em água, SMP e CaCl_2 para a profundidade de 0-20 cm.

| Perfil | pH água | pH SMP | pH CaCl_2 |
|--------|---------|---------|--------------------|
| 1 | 4,5 a | 4.67 a | 4.02 a |
| 2 | 4,48 a | 4.8 b | 4.0 ab |
| 3 | 4.6 a | 4.8 b | 3.98 b |
| 4 | 4.78 b | 4.73 ab | 4.08 b |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Duncan ao nível de 5%

MILLER et al (1990) observaram que em solos ácidos (pH 4-5) freqüentemente ocorrem concentrações altas e tóxicas de manganês e alumínio solúveis. Na tabela 21 pode-se verificar que o pH medido pelos três métodos encontraram-se nessa faixa de pH 4 e 5, podendo indicar então concentrações de alumínio e manganês pouco favoráveis ao crescimento das raízes.

M) Capacidade de troca de cátions

A capacidade de troca dos cátions (CTC) na superfície dos perfis (apêndice 4), apresentou maiores valores em relação à sub-superfície. Os valores foram menores que 24 e.mg indicando baixa atividade da fração argila e sugerindo a presença de minerais de argila do tipo 1:1.

No que refere aos teores de cátions (apêndice 4) os valores encontrados pela análise de rotina nas superfícies dos perfis, observou-se que se caracterizam por serem muito baixos. O perfil 1 apresentou o maior valor de soma de bases $0,68 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (110,50 mg/kg) de solo e os demais perfis apresentam valor de soma de bases em torno de $0,50 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ (84,07 mg/kg) de solo. Verificando-se os perfis em relação à soma de bases, observou-se valores decrescentes do horizonte A até o horizonte B. Este valor decresceu 50% até atingir o horizonte B, quando fica constante. Esta diferença se deve principalmente a presença de matéria orgânica que possuindo maior CTC em relação à argila, proporcionou maior soma de bases no horizonte A superficial.

4.4 RELAÇÕES ENTRE O CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Na tabela 22 observa-se os coeficientes de correlação linear entre as variáveis de crescimento de *Eucalyptus dunnii* e os elementos químicos segundo os métodos utilizados para extração.

Tabela 22. Coeficientes de correlação linear entre as variáveis de crescimento (h) altura dominante e (d) diâmetro dominante de *Eucalyptus dunnii* e elementos químicos dos solos estudados, segundo os métodos de análise utilizados, para a profundidade de 0-20 cm.

| elemento | variável | ác. cítrico | ác. cloríd. | anál. rotina | dig. total |
|----------|----------|-------------|-------------|--------------|------------|
| fósforo | h | — | 0,6714 ns | -0,9658* | -0,9715* |
| | d | — | 0,8401 ns | -0,8961 ns | -0,9908* |
| potássio | h | 0,3259 ns | 0,1184 ns | -0,7537 ns | 0,0558 ns |
| | d | 0,5886 ns | 0,4003 ns | -0,6059 ns | 0,3459 ns |
| cálcio | h | 0,9547* | 0,7624 ns | — | 0,6559 ns |
| | d | 0,9966* | 0,9101* | — | 0,8477 ns |
| magnésio | h | 0,3443 ns | 0,6420 ns | -0,3030 ns | 0,2642 ns |
| | d | 0,6024 ns | 0,8351 ns | -0,0668 ns | 0,4256 ns |
| ferro | h | -0,9576* | -0,4303 ns | — | -0,3842 ns |
| | d | -0,8527 ns | -0,4334 ns | — | -0,3032 ns |
| manganês | h | 0,8548 ns | 0,8125 ns | — | 0,7878 ns |
| | d | 0,9533* | 0,9336* | — | 0,9081* |
| cobre | h | 0,9571* | 0,7681 ns | — | -0,9757* |
| | d | 0,9998* | 0,9105* | — | 0,9031* |
| zinco | h | 0,2960 ns | 0,7239 ns | — | 0,0077 ns |
| | d | 0,2147 ns | 0,8868 ns | — | 0,3002 ns |
| alumínio | h | -0,6131 ns | 0,8023 ns | -0,7732 ns | -0,5902 ns |
| | d | -0,3746 ns | 0,9108* | -0,6510 ns | -0,3617 ns |

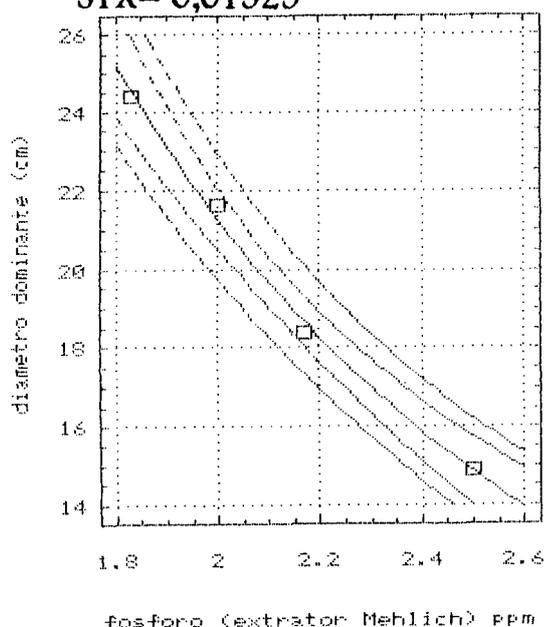
*significância ao nível de 5%.

Neste estudo houve correlação negativa do fósforo com as variáveis de crescimento para a análise de rotina e para a digestão total (figura 6). Mc COLL (1969) constatou que o teor total de fósforo não fornece uma medida razoável do fósforo disponível para absorção das plantas, pois principalmente a disponibilidade do fósforo é fortemente influenciada pelo pH do solo. BARROS et al (1990b) consideraram que para concluir sobre um determinado nível adequado de fósforo no solo para o crescimento de eucalipto, é necessário conhecer no mínimo, o tipo de extrator, a textura do solo (fator capacidade) e a idade da planta em crescimento nesse solo.

$$(1) Y = 4,17063X^{-1,60669}$$

$$R^2 = 0,9966$$

$$SYX = 0,01525$$



$$(2) Y = 65,346 - 19,9511 X$$

$$R^2 = 0,9438$$

$$SYX = 1,70432$$

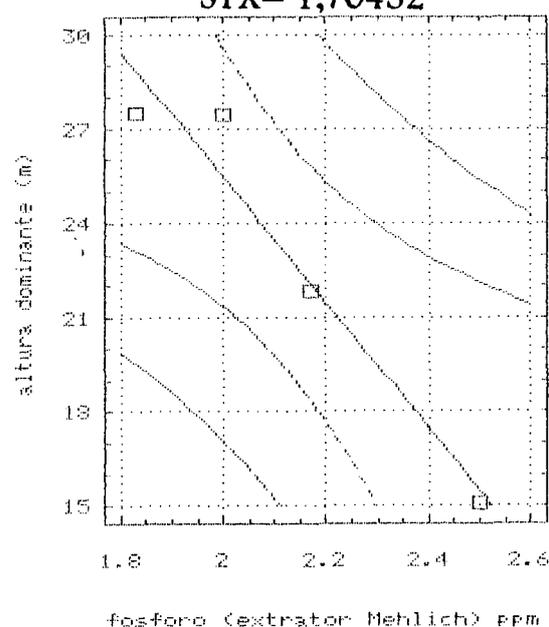


FIGURA 6: Relações do teor de fósforo extraído sob análise de rotina (extrator Mehlich) com diâmetro dominante (1) e altura dominante (2) na profundidade de 0-20 cm para os perfis estudados.

As extrações utilizadas neste estudo diferiram de forma considerável no coeficiente de correlação linear. A análise de rotina (extrator de Mehlich) registrou correlação negativa e a extração com ácido clorídrico foi positiva, porém não significativa, provavelmente devido ao fato do estudo ter sido realizado em uma toposequência e o número de perfis não ser suficiente para apresentar significância.

Verificou-se ainda que a correlação entre os métodos utilizados na extração e a digestão total também diferiram. A correlação do ácido clorídrico com a digestão total foi negativa e análise de rotina com a digestão total foi positiva. A análise de rotina não conseguiu detectar diferenças entre os perfis estudados, porém a extração com ácido clorídrico conseguiu detectar diferença entre os perfis (o perfil 1 diferiu estatisticamente dos demais). Constatou-se que ambas as extrações realizadas são contraditórias, não constituindo assim formas confiáveis de análise para o fósforo no solo. Conforme RAIJ (1987a) o uso de extratores ácidos não reflete de forma fidedigna os teores reais na solução do solo, devido ao seu pH próximo a 2.

Seguindo a seqüência sugerida por BARROS et al (1990b), a textura do solo estudado, no geral foi caracterizada por média/argilosa indicando assim que as condições de difusão oferecidas para o deslocamento do fósforo até as raízes não são totalmente inadequadas, pois pode haver considerável quantidade de água.

Quanto à idade, o povoamento tem 7 anos e conforme BARROS et al (1982) com a idade há uma diminuição acentuada no valor crítico de fósforo, mostrando uma tendência descendente para um crescimento satisfatório. SILVA et al (1983) realizando experimento para conhecer a eficiência de utilização de nutrientes em cinco espécies de eucaliptos, observaram que o *E. dunnii* utilizou o nitrogênio, fósforo e magnésio de forma eficiente.

NOVAIS et al (1990) constataram que os povoamentos de eucaliptos no Brasil, têm sido implantados em solos onde o fósforo é um dos nutrientes mais limitantes do crescimento. MELO et al (1995a) em estudo realizado com *Eucalyptus saligna* sobre a eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo para vários elementos minerais, utilizaram a extração do fósforo com Mehlich-1, e ressaltaram que considerando os métodos de extração utilizados o fósforo foi o nutriente mais limitante para a produção; e a eficiência de utilização de fósforo e potássio pelo eucalipto elevou-se com a redução desses teores no solo. Entretanto, nas condições deste estudo e com as extrações utilizadas para conhecer os teores de fósforo no solo, não foi possível avaliar se o *E. dunnii* é uma espécie exigente quanto ao fósforo.

No entanto, há de se considerar também a possibilidade do *E. dunnii* realizar a absorção de fósforo em maior grau de outras fontes como por exemplo, através da ciclagem de nutrientes realizada nas camadas da serrapilheira, as quais não foram avaliadas neste trabalho.

Conforme os resultados, nas condições deste estudo verificou-se que o potássio não apresentou correlação significativa, tanto com altura, como diâmetro. No entanto, apesar de não haver correlações significativas neste estudo, pode-se constatar que no perfil 1 onde ocorreu o maior crescimento de eucalipto, observou-se os maiores teores de potássio no solo, através dos diversos métodos de extração. Sugerindo então, que provavelmente o *E. dunnii* tenha uma resposta melhor de crescimento em solos que apresentem maiores teores desse elemento.

BARROS et al (1981) encontraram variação de espécie para espécie de eucaliptos quanto à exigência dos teores de potássio de solo. Esses mesmos autores também verificaram o efeito da maior ou menor presença de cálcio e magnésio sobre as alterações no nível crítico de potássio. O efeito da adição de potássio no solo ocorreu, quando o teor de nutriente no solo era menor que 7 mg.Kg⁻¹.

LISBÃO Jr. (1980) estudando a resposta de mudas de *E. dunnii* à adição de nitrogênio e potássio, observou que estes elementos diminuíram a resistência das plantas à geada e, conseqüentemente a sobrevivência das mesmas. REISSMANN et al (1991) em estudo sobre o efeito da leira no crescimento e resistência de *E. dunnii* à geada, observaram que não ocorreu uma diferença grande nos teores de potássio entre as árvores que se localizaram fora e na leira, no sentido de promover tal proteção. No entanto, ressaltaram que para um esclarecimento, há de se considerar os aspectos que envolvem a interação dos demais nutrientes.

Através de experimentos conduzidos no campo, BARROS et al (1982) obtiveram uma relação linear entre a altura das árvores de *Eucalyptus saligna* num solo que tinha originalmente 28 mg.Kg⁻¹ de potássio, entretanto, para *Eucalyptus grandis* na idade de 4,5 anos, não houve resposta à adição de potássio num solo com 51 mg.Kg⁻¹ do elemento.

Neste estudo o melhor crescimento de *E. dunnii* foi observado no perfil 1, no qual através das extrações realizadas foram encontrados os seguintes teores de potássio 45,52 mg.kg⁻¹ (ác. cítrico 1%), 86,67 mg.kg⁻¹ (ác. clorídrico 10%) e 46,92 mg.kg⁻¹ (anál.rotina). Haveria então, a necessidade de se realizarem experimentos para avaliar a resposta de *E. dunnii* à aplicação de potássio, pois cada espécie de eucalipto difere quanto à capacidade de absorção ou translocação em presença de quantidades diferenciadas de potássio na solução do solo. Constatou-se também correlação negativa (não significativa) das variáveis de crescimento com o potássio total do solo.

A correlação entre o cálcio extraído com ácido cítrico e as variáveis de crescimento foi positiva. O cálcio extraído com ácido clorídrico 10% correlacionou-se positivamente com o diâmetro e a altura. Na figura 7 pode-se visualizar a relação entre o crescimento em altura com o elemento químico cálcio extraído com ácido cítrico.

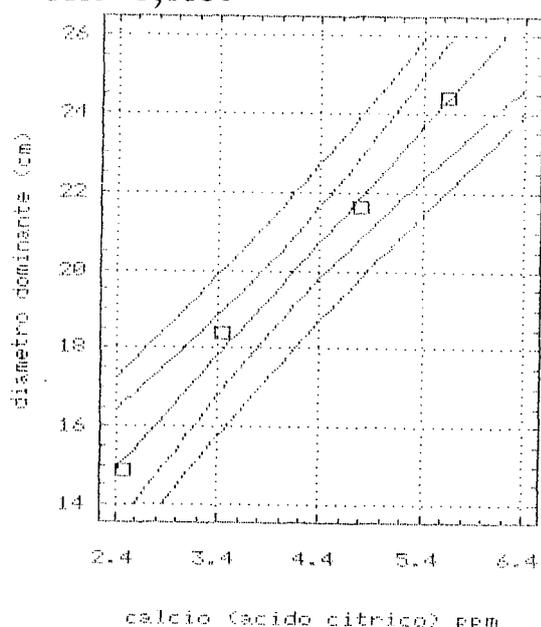
Mc COLL (1969) descreveu que na relação Ca:Mg menor do que um, o magnésio pode competir com o cálcio limitando o crescimento, devido a

insuficiência de cálcio no solo. Aplicando-se esta relação nas extrações realizadas na profundidade de 20 cm para os quatro perfis, obteve-se os seguintes resultados médios: a) ácido cítrico: $0,34 \text{ mg.Kg}^{-1}$; b) ácido clorídrico: $0,46 \text{ mg.Kg}^{-1}$; c) digestão total: $0,15 \text{ mg.Kg}^{-1}$, desta forma observou-se relação menor que 1 para as extrações realizadas, havendo provavelmente competição nos pontos de troca entre o cálcio e o magnésio, limitando assim a absorção de cálcio pelas raízes. Conforme MARSCHNER (1986) salientou que às vezes, é observada a absorção de cálcio e a inibição da absorção de magnésio devido a competição entre os cátions pelos pontos de troca. Não houve correlação das variáveis de crescimento com o cálcio total do solo.

$$(1) Y = 7,89264 + 2,91745X$$

$$R^2 = 0,9932$$

$$SYX = 0,4135$$



$$(2) Y = 2,08268 X^{0,75149}$$

$$R^2 = 0,9407$$

$$SYX = 0,08419$$

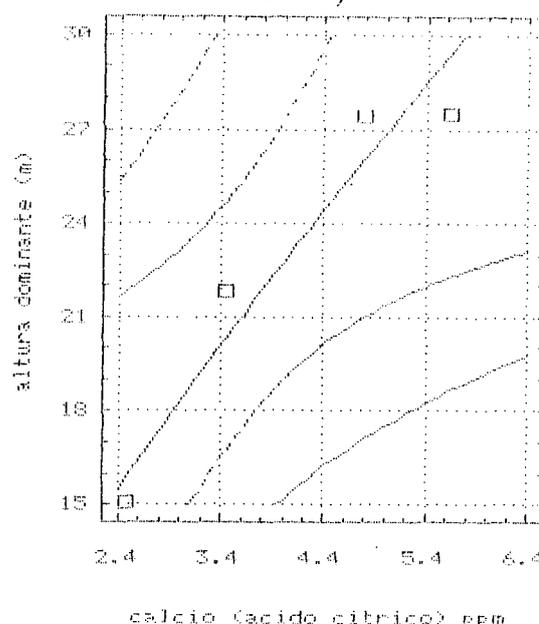


FIGURA 7: Relações do teor de cálcio extraído sob análise do ácido cítrico com diâmetro dominante(1) e altura dominante(2) para a profundidade de 0-20 cm.

MELO et al (1995 b) constataram que ocorreu pouca resposta do eucalipto à adição de cálcio no solo. Contudo, de modo geral, o cálcio é o segundo elemento mais absorvido pela maioria das espécies.

Neste estudo pode-se observar que o melhor crescimento ocorreu no perfil 1, e é também neste perfil onde ocorreram os maiores valores de cálcio extraíveis. Isto pode sugerir que a espécie em estudo tenha possibilidade de um crescimento melhor em solos em que haja maiores teores de cálcio disponível.

Em relação ao magnésio não houve correlação entre o magnésio e as variáveis de crescimento. Esse resultado, pode estar em acordo conforme TISDALE et al (1975) constataram, devido a menores quantidades de magnésio absorvidas pelas plantas em relação ao cálcio e o potássio. No entanto, MELO et al (1995 b) também não observaram correlação entre os teores de magnésio extraídos com ácido sulfúrico e o crescimento. Isto se deve segundo os autores, devido ao extrator provavelmente extrair, além das formas trocáveis, outras formas, normalmente não utilizadas pela floresta durante seu ciclo.

BARROS et al (1990b) referiram que em solos tropicais o teor de magnésio é muito baixo e neste aspecto, MELO et al (1995b) destacaram a importância dos horizontes superficiais na nutrição de magnésio e também o potássio para o eucalipto.

Com o ferro verificou-se correlação negativa e significativas nas extrações realizadas para o crescimento em altura e a extração com ácido cítrico, neste

estudo. A figura 8 mostra essa relação. NEVES et al (1990) referiram que normalmente as árvores se satisfazem com os teores de ferro e de manganês existentes na grande maioria dos solos/subsolos utilizados para produção. No entanto, a presença de grandes quantidades de ferro favorece a adsorção de nutrientes como o fósforo, limitando sua disponibilidade para as plantas. O ferro está presente em sua maior parte em óxidos, realizando combinações com o fósforo. A correlação negativa obtida indica que os teores de ferro presentes no solo não são favoráveis ao crescimento do *E. dunnii*.

$$Y = 10,6709 X^{-1,10714}$$

$$R^2 = 0,9549$$

$$SYX = 0,07335$$

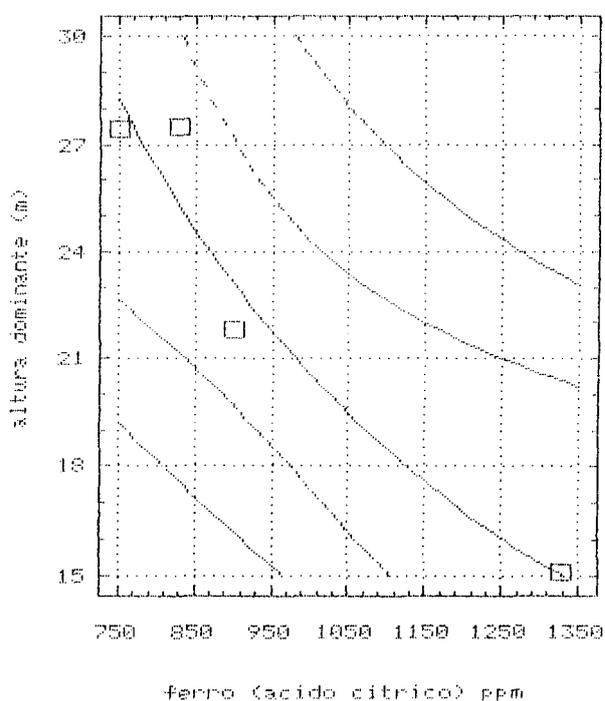


FIGURA 8: Relações do teor de ferro sob análise com ácido cítrico com a variável altura dominante na profundidade de 0-20 cm, nos perfis estudados.

Houve correlação positiva neste estudo das variáveis de crescimento com o cobre extraído com ácido cítrico 1%. Esta relação pode ser visualizada na figura 9. Já a digestão total mostrou correlação negativa com as variáveis de crescimento.

Pode-se observar através dos teores obtidos com as extrações utilizadas que o crescimento do *E. dunnii* foi mais expressivo nos perfis onde os teores eram maiores, sendo que o perfil 4 foi o que apresentou o menor teor disponível e o menor crescimento.

$$(1) Y=0,102709 + 67,4266 X$$

$$R^2= 0,9997$$

$$SYX= 0,09126$$

$$(2) Y= 4,6898 X^{1,2715}$$

$$R^2= 0,9312$$

$$SYX=0,09064$$

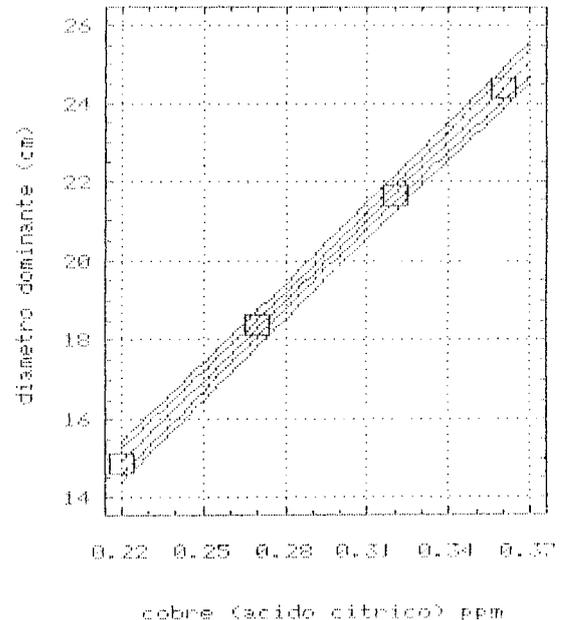
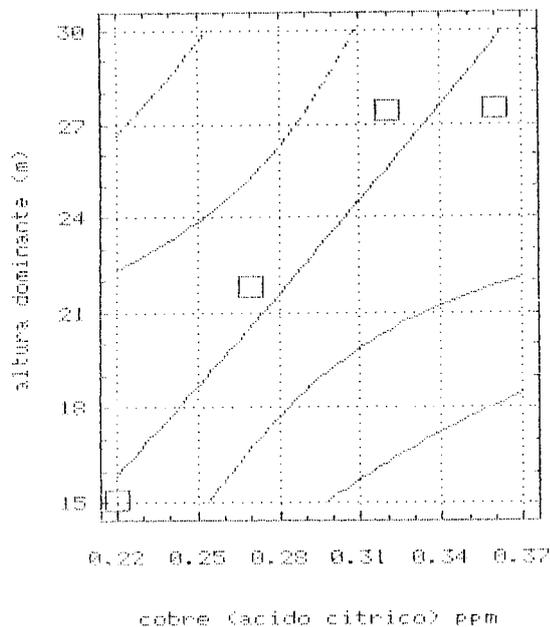


FIGURA 9: Relações do teor de cobre sob extração com ácido cítrico com o diâmetro dominante (1) e altura dominante (2) para a profundidade de 0-20 cm nos solos estudados.

Em relação ao zinco a correlação encontrada não foi significativa com as variáveis de crescimento diâmetro e altura neste estudo. Correlação semelhante foi verificada por COUTO NETO et al (1985) estudando a adição de zinco em solos de cerrado não obtiveram resposta do eucalipto, mesmo em solos em que originalmente o teor de zinco era próximo de zero. Ressaltaram que o resultado obtido sugere que o eucalipto tem elevada capacidade de absorção e/ou baixa exigência metabólica para zinco, comparativamente a outras plantas.

Quanto ao manganês observou-se correlação positiva somente em diâmetro, em ambas as extrações e para a digestão total. Na figura 10, pode-se visualizar a relação encontrada.

$$Y = 2,51337 X^{0,166277}$$

$$R^2 = 0,9437$$

$$SYX = 0,06198$$

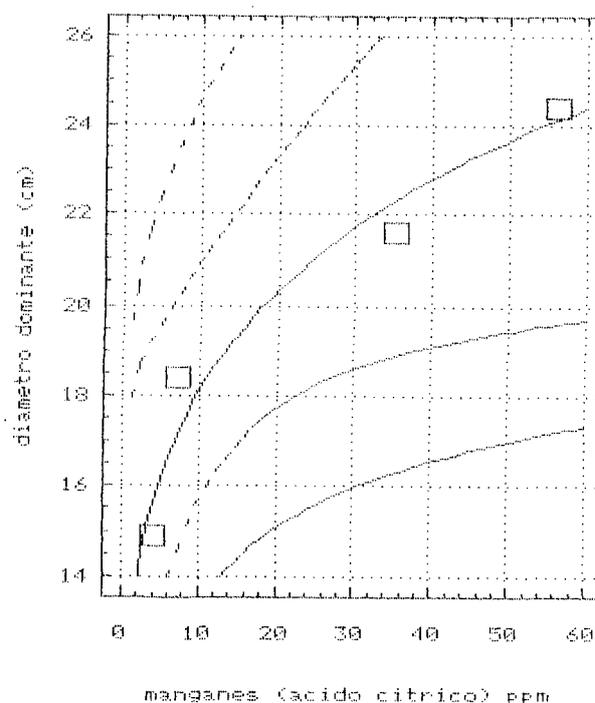


FIGURA 10: Relações do teor de manganês sob extração com ácido cítrico com o diâmetro dominante na profundidade de 0-20 cm nos perfis estudados.

Apesar da faixa de pH ser favorável a disponibilidade de manganês, outros fatores poderão estar afetando a disponibilidade. GODO & REISENAUER (1980) citaram que a presença de componentes exudados pela planta constituem importante fator na absorção de manganês e que este efeito é particularmente marcado em ambientes mais ácidos do que pH 5,5 e explicam por que não se observaram deficiência de manganês nas plantas, mesmo em solos onde não há muita disponibilidade de manganês.

Pode-se verificar através dos teores extraídos em ambas as extrações empregadas que houve uma grande diferença nos valores entre os perfis, principalmente entre os perfis 1 e 4. Isto sugere que além do pH, que pode interferir na disponibilidade de manganês no solo (nas condições deste estudo parece não ser o fator primordial), outras condições de solo e interações entre os nutrientes ocorreram para registrar uma grande diferença entre os teores de manganês no solo, proporcionando um crescimento do eucalipto mais expressivo no perfil 1.

Quanto ao alumínio pode-se observar correlação positiva das variáveis de crescimento, somente na extração com ácido clorídrico. Nas demais extrações e na digestão total as correlações foram negativas e não significativas. Como neste estudo as correlações foram contraditórias, a forma mais razoável de se avaliar realmente qual a extração se constituiria a mais adequada para se conhecer os teores de alumínio que não prejudicariam o crescimento do *E. dunnii*, seria

através do cultivo de mudas de eucaliptos submetidos à várias concentrações de alumínio. Analisando-se assim, a resposta do eucalipto em forma de crescimento na presença concentrações diferenciadas; e conhecendo-se os teores de alumínio no solo, através dos mesmos extratores utilizados neste estudo.

Em ambas as extrações constatou-se grande diferença nos teores de alumínio entre o perfil 1 e o perfil 4, porém essas diferenças se caracterizam por serem opostas. Enquanto o perfil 4 possuía os maiores teores de alumínio na extração com ácido cítrico, na extração com ácido clorídrico possui os menores teores.

Quanto ao crescimento das espécies em relação a presença dos teores de alumínio, segundo MARSCHNER (1986) a adaptação das plantas à solos minerais ácidos, requer normalmente alta tolerância ao alumínio e ao manganês e alta eficiência na utilização dos nutrientes minerais. Acrescentou também que a tolerância das plantas ao alumínio pode-se realizar pela complexação do alumínio por ácidos orgânicos.

Na tabela 23 pode-se visualizar algumas das propriedades químicas relacionadas com o crescimento do eucalipto. Observou-se correlação significativa das variáveis de crescimento com o pH medido em água e o com o caráter álico. O resultado obtido nestas relações podem indicar que a espécie em estudo tem suscetibilidade a níveis tóxicos desses elementos, os quais poderão prejudicar o crescimento de *Eucalyptus dunnii*.

Tabela 23. Correlação linear simples entre as variáveis de crescimento e algumas características químicas do solo na profundidade de 20 cm.

| | pH-água | pH-SMP | pH-CaCl ₂ | N | C | H |
|---|---------|---------|----------------------|----------|----------|----------|
| h | -0.99* | 0.32 ns | -0.89 ns | -0.22 ns | -0.59 ns | -0.62 ns |
| d | -0.93* | 0.05 ns | -0.80 ns | 0.023 ns | -0.63 ns | -0.38 ns |

| | S | T | V | 100.Al/Al+S |
|---|---------|----------|---------|-------------|
| h | 0.43 ns | -0.51 ns | 0.71 ns | -0.83 ns |
| d | 0.67 ns | -0.24 ns | 0.87 ns | -0.95* |

* significância ao nível de 5%.

Quanto as características como a CTC, valor e a soma de bases as correlações não foram significativas, provavelmente o método utilizado para análise (análise de rotina) não foi adequado como já discutido anteriormente.

Correlação significativa não foi encontrada com o nitrogênio e o carbono. No que refere ao nitrogênio a adaptação do eucalipto à solos ácidos, segundo VALE et al (1982) fez com que a forma amoniacal que geralmente é encontrada nos solos ácidos, fossem absorvidas pelos eucaliptos, mantendo assim um crescimento satisfatório. LOCATELLI et al (1984) observaram o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* e constataram que a espécie estudada no seu processo de evolução, desenvolveu um mecanismo eficiente de absorção de amônio do meio de crescimento. Acrescentaram ainda que a maior parte das espécies de eucaliptos

cultivadas no Brasil crescem bem em solos ácidos, onde o teor de nitrato é supostamente baixo.

No estudo realizado com os perfis não houve diferença entre os teores de nitrogênio no solo. Assim, em seu mecanismo de adaptação a solos ácidos, a espécie em questão, pode ter adquirido comportamento semelhante ao *E. grandis* ou ter realizar a absorção de nitrogênio por outras fontes não avaliadas neste estudo.

A correlação negativa com o carbono pode ser decorrente das condições deste trabalho. Houve uma pequena diferença nos teores de carbono entre os perfis. Essa diferença pode estar interligada ao processo de decomposição de material orgânico mais ou menos acelerado, influenciado por muitas condições e neste estudo principalmente pela posição do perfil na toposeqüência, pois a presença de matéria orgânica contribui de forma similar no fornecimento de carbono à nutrição das espécies. HUANG & SCHOENAU (1996) realizaram experimentos em povoamentos de *Populus tremuloides* e enfatizaram a importância da manta orgânica, principalmente os horizontes LFH em armazenar carbono, pois é a principal fonte de carbono orgânico depositado no piso da floresta que estão na forma de folhas, ramos, galhos e outros fragmentos orgânicos.

4.5 RELAÇÕES ENTRE O CRESCIMENTO DE *Eucalyptus dunnii* E AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E MORFOLÓGICAS DOS SOLOS ESTUDADOS

Todos os perfis estudados apresentaram seqüência de horizontes A-B-C. Porém somente no perfil 4 foi possível alcançar o horizonte C, devido a menor profundidade. Nos demais perfis foram estudadas a seqüência de horizontes A e B, pois, por apresentarem maior profundidade, não se conseguiu atingir o horizonte C.

A profundidade do “solum” (horizontes A+B) dos perfis estudados variou de acordo com a sua posição no relevo. O perfil 1 que está localizado na posição mais inferior da toposequência, é o mais profundo. Caracterizou-se por apresentar uma profundidade 1,80⁺ metros. Os perfis 2 e 3 localizaram-se na posição intermediária ao longo da toposequência e por se situarem numa posição mais exposta à erosão são menos profundos e apresentaram profundidade de 1,54⁺ m e 1,53⁺ m, respectivamente. O perfil 4 ocupa a posição superior na toposequência, apresentou a menor profundidade, com 1,13 metros.

É interessante ressaltar a importância dos processos de erosão, escoamento superficial e a evolução pedogenética dos perfis. A diferença na profundidade dos horizontes neste estudo, entre a maior e a menor profundidade atingiu 100 cm.

Além desse processo natural de desenvolvimento do perfil, ressalta-se também a perda de solo, principalmente dos primeiros centímetros, quando se realizaram as operações de preparo do terreno para o plantio.

No local deste estudo, as quantidades, o tipo de preparo de solo adotado, favorecem o arraste de grande quantidade de partículas, que são amontoadas nas áreas onde são formadas leiras. A influência deste arraste é sentida notadamente em solos de pouca profundidade, não favorecendo o desenvolvimento das raízes como acontece no perfil 4, onde a retirada de solo resultará em maior desvantagem em relação aos demais perfis, acentuando um menor crescimento das plantas.

Em relação ao horizonte A no estudo dos perfis, destaca-se sua importância no crescimento e desenvolvimento das plantas, principalmente nos perfis que são menos profundos e se encontram situados em encostas.

Ressaltando-se ainda a importância do horizonte A pela presença da matéria orgânica, de grande importância na troca de cátions entre o solo e as raízes das plantas, observou-se nos perfis analisados grande diferença no que refere a profundidade. A variação da espessura do horizonte A (figura 11) nos perfis estudados foi de 125 cm (perfil 1), 75 cm (perfil 2), 47 cm (perfil 3) e 21 cm (perfil 4).

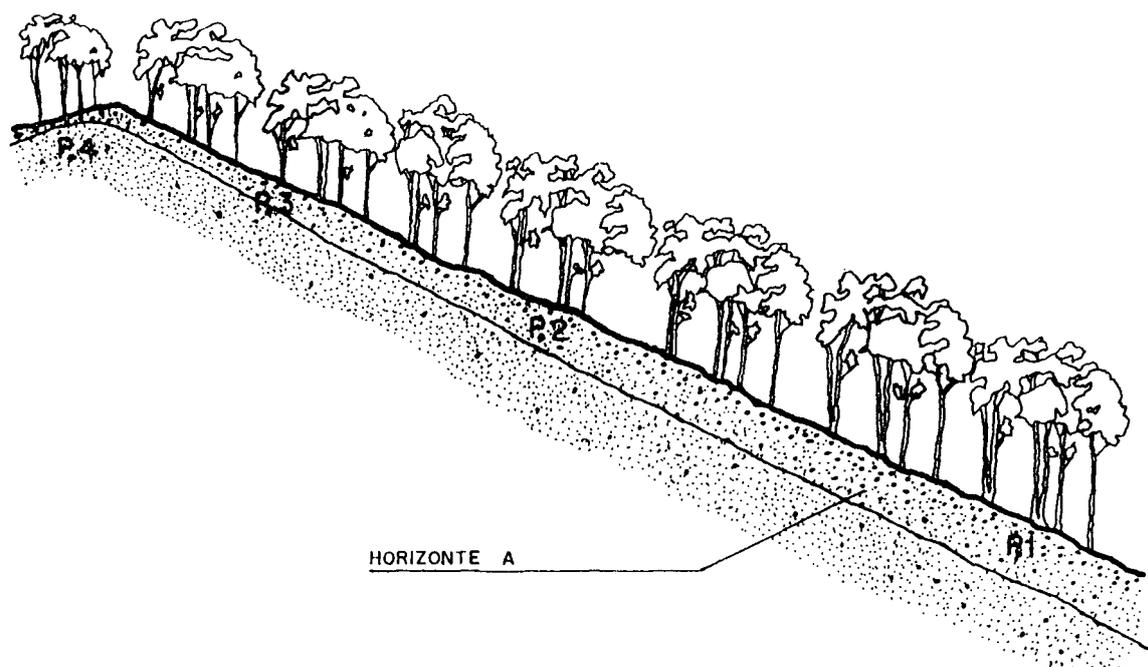


FIGURA 11: Distribuição das árvores na toposeqüência e espessura do horizonte A.

A profundidade é uma característica favorável ao *E. dunnii*, segundo BARROS et al (1990a), pois no local de origem, cresce preferencialmente em solos profundos. CARMO et al (1990) ressaltaram que em solos rasos o eucalipto pode ter seu crescimento limitado drasticamente.

Neste estudo correlacionou-se as variáveis de crescimento com o horizonte A, por ser este a princípio, mais determinante tanto no crescimento das raízes, como da parte aérea das árvores. O coeficiente de correlação entre o diâmetro e a profundidade do horizonte A foi de 0,98* (figura 12), porém com a altura nas condições do estudo não foi possível obter significância, apesar do coeficiente ter

vido igual a 0,89. No entanto, estes valores tendem a demonstrar que a profundidade do solo (no caso espessura do horizonte A) é característica importante ao crescimento do *E. dunnii* conforme constataram ZOBEL et al (1987) e CARMO et al (1990).

$$Y = -1,83466X^{-0,963929}$$

$$R^2 = 0,9662$$

$$SYX = 0,048$$

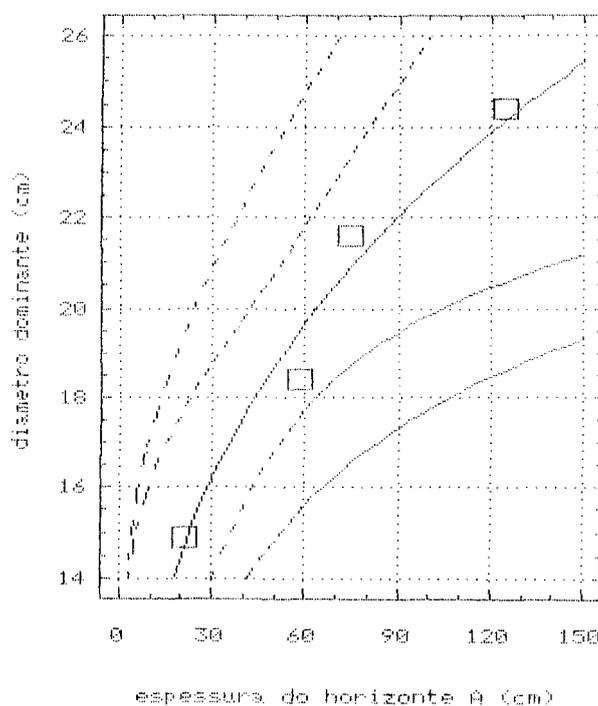


FIGURA 12: Relação da espessura do horizonte A com o diâmetro dominante nos perfis estudados.

Os solos apresentaram-se com pequeno aumento de argila em profundidade, sendo classificados como solos de textura média/argilosa (tabela 24). Observou-se no perfil 1, que a fração predominante nos primeiros centímetros do perfil foi a areia total com percentagens próximas a 50%, porém com predomínio da areia fina. Constatou-se uma diminuição desta fração a medida que a profundidade do perfil aumentava.

Os teores de argila foram superiores a 35%, aumentando com a profundidade do perfil e teores de silte foram inferiores aos de argila, em torno de 12% não variando ao longo do perfil.

Tabela 24. Valores médios da análise granulométrica por perfil para a profundidade de 20 cm.

| Perfil | a.grossa % | a.fina % | silte % | argila % |
|--------|------------|----------|---------|----------|
| 1 | 21.78 a | 31.85 a | 13.18 a | 33.18 a |
| 2 | 24.60 b | 30.92 a | 13.27 a | 31.22 b |
| 3 | 32.07 c | 27.73 b | 11.95 a | 28.25 c |
| 4 | 16.13 d | 22.83 c | 20.95 a | 40.08 d |

Nas colunas, as médias seguidas da mesma letra não diferem significativamente entre si pelo Teste de Duncan ao nível de 5%.

RODRIGUES & KLAMT (1978) observaram que a percentagem de silte nos latossolos varia de 11 a 20%, estando assim a percentagem encontrada nos solos estudados dentro do limite sugerido pelos autores citados. Observou-se que o decréscimo de areia no horizontes dos perfis, implicando em um ligeiro aumento da fração argila e sugerindo que esta fração esteja aumentando pelo intemperismo das frações mais grosseiras.

O perfil 2 apresenta comportamento semelhante ao perfil 1 quanto à distribuição das frações granulométricas em profundidade no perfil.

Já no perfil 3 constatou-se também um predomínio da areia total, porém com a presença da areia grossa bem maior em relação à areia fina, quando se

compara aos perfis 1 e 2. O teor de argila também diminui em torno de 4% em relação aos perfis 1 e 2, assim como o teor de silte que se estabelece próximo a 8%. Apesar do predomínio da areia grossa (da fração total) também observou-se um decréscimo da areia total ao longo do perfil e um aumento do teor de argila (apêndice 3).

A avaliação granulométrica do perfil 4 registrou que as frações argila (45%) e silte aumentaram consideravelmente em relação aos perfis anteriores, sendo que o oposto se verifica em relação a fração areia total cujo teores diminuíram ao longo da toposequência com percentagens médias próximas a 30%, com predomínio da areia fina. A fração argila é predominante com pequenos acréscimos ao longo do perfil. O teor de silte varia em torno de 20% nos horizontes A e B, aumentando no horizonte C para 37%. Situação distinta daquela encontrada nos perfis supracitados, onde o teor de silte variava em torno de 10% e não apresentava grande variação ao longo do perfil. Segundo COZZO (1955) os eucaliptos preferem solos de textura média, ficando os solos argilosos em segundo lugar. FRANÇA et al (1986) estudando a arquitetura do sistema radicular de *E. saligna* constataram que ocorre maior aprofundamento do sistema radicular em solos mais arenosos.

Na tabela 25 estão as correlações obtidas entre as variáveis de crescimento e as frações granulométricas. É possível constatar que somente houve correlação significativa com a fração areia fina. Este resultado pode sugerir que o *E. dunnii*

que em solos de textura média o crescimento seria mais favorável à solos argilosos.

A figura 13 mostra o ajuste obtido.

Tabela 25: Correlação linear simples entre as variáveis de crescimento e as frações granulométricas para a profundidade de 0-20 cm nos perfis estudados.

| | a.grossa | a. fina | silte | argila |
|---|----------|---------|----------|----------|
| h | 0.39 ns | 0.99* | -0.81 ns | -0.64 ns |
| d | 0.22 ns | 0.97* | -0.71 ns | -0.49 ns |

*significativo ao nível de 5%.

(1) $Y = \exp(1,50726 + 0,0516953 X)$

$R^2 = 0,9717$

$SYX = 0,04397$

(2) $Y = -3,11864 X^{1,86648}$

$R^2 = 0,9947$

$SYX = 0,02507$

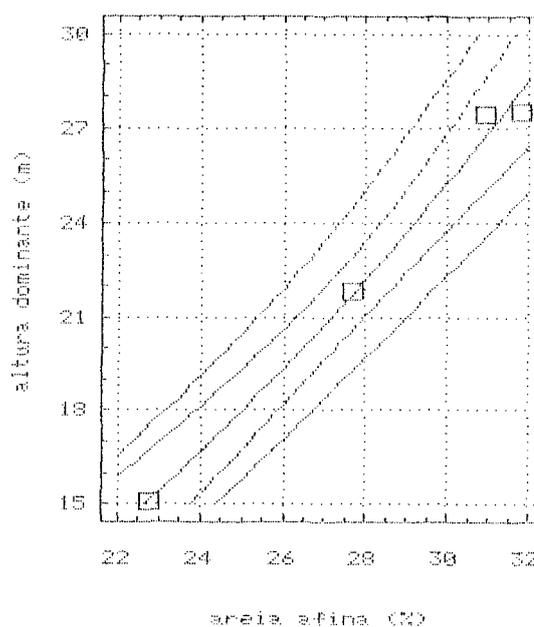
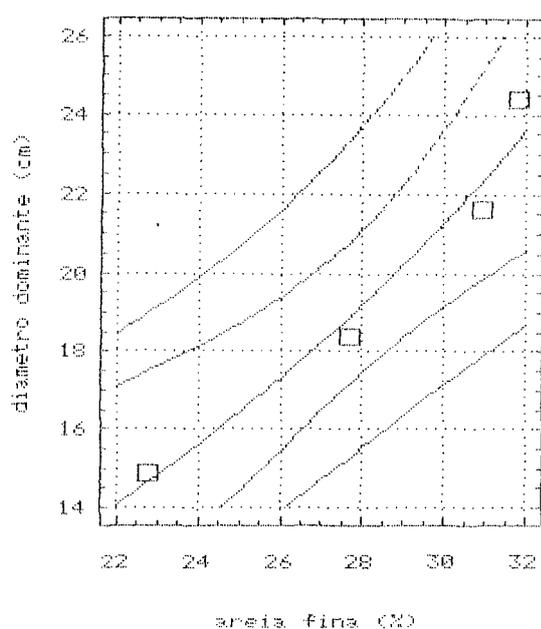


FIGURA 13: Relação das frações granulométricas do solo entre o diâmetro dominante (1) e a altura dominante (2) para a profundidade de 0-20 cm nos solos estudados

Deve-se considerar também a relação silte/argila, que segundo LUZ et al (1992) de certa forma traduz o grau de intemperização dos solos. Dessa forma, nos perfis 1, 2 e 3 a relação silte/argila apresentou um valor médio de 0,25 e no perfil 4 o valor médio de 0,46, indicando que o grau de intemperismo é menor no perfil 4.

A estrutura observada nos perfis estudados variou de granular nas camadas superficiais a blocos subangulares nas camadas subsuperficiais. A estrutura do solo juntamente com a consistência podem facilitar ou não o desenvolvimento da raiz. Por exemplo a condição de ligeiramente duro a muito duro, a qual foi encontrada nos horizontes mais profundos nos perfis de solo neste estudo, poderá dificultar o crescimento da raiz, quando esta condição estiver presente, condicionado principalmente pelo fator água. Conforme PRICHETT (1979) a estrutura tem efeito direto na infiltração de água e na penetração das raízes.

Entretando, analisando isoladamente a estrutura dos perfis constatou-se que esta se caracteriza por ser facilitadora ao desenvolvimento da raiz, principalmente nos primeiros centímetros do perfil, pela característica granular que os solos apresentaram. No entanto, esta condição pode ser alterada em função do menor ou maior grau de compactação do solo.

5 CONCLUSÕES

1. A presença do latossolo nos perfis 1, 2 e 3 da toposequência, proporcionou de forma diferenciada o melhor crescimento para *Eucalyptus dunnii*, consistindo no mais adequado para o reflorestamento com esta espécie.
2. O perfil 4 localizado superiormente na toposequência, no qual se encontra a classe de solo Cambissolo, apresentou um menor crescimento para diâmetro e altura.
3. A extração com ácido clorídrico 10% foi o melhor método de extração neste estudo. As melhores correlações entre o teor total e o teor extraível foram registradas para os seguintes elementos: manganês (0,97); cálcio (0,73); ferro (0,64) e zinco (0,50).
4. O crescimento da espécie em estudo pode estar sendo limitado pelos teores disponíveis de cálcio, manganês e cobre. Os elementos minerais ferro e alumínio podem estar influenciando negativamente o crescimento do eucalipto.
5. Não foi possível obter correlação significativa dos seguintes elementos: potássio, magnésio e fósforo com o crescimento de *E. dunnii*. No entanto, foi possível observar que os perfis que contiveram os maiores teores desses elementos, apresentaram o melhor crescimento.
6. A espessura do horizonte A e a fração granulométrica areia fina mostraram correlações altamente significativas com o crescimento de *E. dunnii*, podendo ser consideradas limitantes.

APÊNDICE 1 - Descrição Morfológica dos Perfis

PERFIL 1

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo álico A húmico* textura média/argilosa fase floresta subtropical mista relevo ondulado

Município: Mafra - SC

Localização: Talhão Ilha Tokarski - Rigesa - Papel e Embalagem de Santa Catarina

Situação e Declive: Trincheira aberta na parte mais baixa na topossequência com 11% declive

Litologia e Formação Geológica: Sedimentos formados por folhelhos, siltitos do sub-grupo Itararé, pertencente ao grupo Tubarão

Material de Origem: Resíduos intemperizados provenientes da decomposição das rochas acima

Relevo local: ondulado

regional: ondulado

Altitude: 780 metros

Drenagem: Acentuadamente drenado

Erosão: não aparente

Vegetação Primária: floresta subtropical mista

Clima: Cfb de Köppen

Uso Atual: Reflorestamento com *Eucalyptus dunnii*

A₁₁ 0-26 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3); franco argilosa arenosa; moderada grande granular; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A₁₂ 26-42 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3); argila arenosa; moderada grande blocos subangulares; ligeiramente duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

- A₁₃ 42-88 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4); argilo arenoso; moderada médio blocos subangulares; ligeiramente duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A₁₄ 88- 125 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4); argila; moderado médio blocos subangulares; ligeiramente duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- B₁ 125- 140 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4); argila; moderada média blocos subangulares a moderada grande granular; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₁ 140- 160 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4); argila; moderada pequeno blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₂ 160- 180+ cm; vermelho amarelado (5 YR 4/6); argila; moderada médio/pequeno blocos subangulares; duro; firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

PERFIL 2

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo Álico A moderado textura média/argilosa fase subtropical mista relevo ondulado

Município: Mafra - SC

Localização: Talhão Ilha Tokarski - Rigesa Papel e Embalagens de Santa Catarina

Situação e Declive: trincheira aberta na parte mais baixa da porção intermediária na topossequência com 11 % declive

Litologia e Formação Geológica: Sedimentos formados por folhelhos, siltitos do sub-grupo Itararé pertecente ao Grupo tubarão

Material de Origem: Resíduos Intemperizados provenientes da decomposição das rochas acima

Relevo Local: ondulado

Regiona: ondulado

Altitude: 780 metros

Drenagem: acentuadamente drenado

Erosão: não aparente

Vegetação Primária: floresta subtropical mista

Clima: Cfb de Köppen

Uso Atual: Reflorestamento com *Eucalyptus dunnii*

A₁₁ 0- 20 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4); franco argiloso arenoso; moderada pequena/muito pequena granular; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

A₁₂ 20- 56 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4); franco argiloso arenoso; moderada média/pequena blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.

A₁₃ 56- 75 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/4); argilo arenoso; moderado médio granular a pequeno blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

B₁ 75- 92 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 4/4); argilo arenoso; moderado médio blocos subangulares; ligeiramente duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

B₂₁ 92- 110 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 4/4); argilo arenoso; moderada médio blocos subangulares; ligeiramente duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

- B₂₂ 110- 134 cm; vermelho amarelado (5 YR 4/6); argilo arenoso; moderada pequena granular a pequena/médio blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₃ 134- 154+ cm; vermelho (2,5 YR 4/8); argila; moderada grande granular a média/pequena blocos subangulares; duro; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

PERFIL 3

Classificação: Latossolo Vermelho Amarelo álico A proeminente textura média/argilosa fase floresta subtropical mista relevo ondulado

Município: Mafra - SC

Localização: Talhão Ilha Tokarski - Rigesa - Papel e Embalagem de Santa Catarina

Situação e Declive: Trincheira aberta na parte mais alta da porção intermediária na topossequência com 11% declive

Litologia e Formação Geológica: Sedimentos formados por folhelhos, siltitos do sub-grupo Itararé, pertencente ao grupo Tubarão

Material de Origem: Resíduos intemperizados provenientes da decomposição das rochas acima

Relevo local: ondulado

regional: ondulado

Altitude: 780 metros

Drenagem: Acentuadamente drenado

Erosão: não aparente

Vegetação Primária: floresta subtropical mista

Clima: Cfb de Köppen

Uso Atual: Reflorestamento com *Eucalyptus dunnii*

- A₁₁ 0- 21 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/2); franco argiloso arenosa; moderada pequena granular; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A₁₂ 21- 47 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/2); franco argiloso arenoso; moderada pequena granular a média blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- A₁₃ 47- 58 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3); franco argiloso arenoso; moderado pequeno granular a médio blocos subangulares; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- B₁ 58- 76 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4); argilo arenoso; moderado médio blocos subangulares a pequeno granular; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₁ 76- 97 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4); argilo arenoso; moderado média blocos subangulares a pequeno granular; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₂ 97- 115 cm; vermelho amarelado (5 Yr 4/6); argilo arenoso; moderado pequeno blocos subangulares a pequeno/médio granular; ligeiramente duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana
- B₂₃ 115- 133 cm; vermelho (2,5 YR 4/8); argilo arenoso; moderado médio/pequeno blocos subangulares; duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

B₂₄ 133- 153+ cm; vermelho (2,5 YR 4/8); argilo arenoso; moderado médio blocos subangulares; muito duro; friável; plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.

PERFIL 4

Classificação: Cambissolo Álico Tb A moderado textura argilosa fase floresta subtropical mista relevo suave ondulado

Município: Mafra - SC

Localização: Talhão Ilha Tokarski - Rigesa - Papel e Embalagem de Santa Catarina

Situação e Declive: Trincheira aberta na parte mais alta topossequência com 5% declive

Litologia e Formação Geológica: Sedimentos formados por folhelhos, siltitos do sub-grupo Itararé, pertencente ao grupo Tubarão

Material de Origem: Resíduos intemperizados provenientes da decomposição das rochas acima

Relevo local: suave ondulado
regional: ondulado

Altitude: 780 metros

Drenagem: Moderadamente drenado

Erosão: não aparente

Vegetação Primária: floresta subtropical mista

Clima: Cfb de Köppen

Uso Atual: Reflorestamento com *Eucalyptus dunnii*

A₁₁ 0- 11 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3); franco argiloso; moderado pequena granular a pequeno bloco subangulares; muito duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.

- A₁₂ 11- 21 cm; bruno avermelhado escuro (5 YR 3/3); argila; moderado grande blocos subangulares; muito duro; muito firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição gradual e plana.
- B₁₁ 21- 30 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4); argila; moderado médio/grande blocos subangulares; muito duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₁₂ 30- 42 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4); argila; moderado médio/grande blocos subangulares; duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₁ 42- 62 cm; vermelho amarelado (5 YR 4/6); argila; moderado média/pequeno blocos subangulares; duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₂ 62- 75 cm; vermelho (2,5 YR 4/6); argila; moderado pequeno blocos subangulares; duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana
- B₂₃ 75- 91 cm; vermelho (2,5 YR 4/8); argila; moderado pequeno blocos subangulares; duro; friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- B₂₄ 91- 113 cm; vermelho (2,5 YR 4/8); argila; moderado médio/grande blocos subangulares; muito duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- C₁ 113- 137 cm; vermelho (2,5 YR 5/8); argila; moderado médio grande blocos subangulares; muito duro; firme; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana.
- C₂ 137- 157+ cm; vermelho (2,5 YR 5/8); argila; moderada médio/grande blocos subangulares; muito duro; firme; plástico e ligeiramente pegajoso; transição difusa e plana. (com mosqueado pouco, pequeno, amarelo avermelhado (7,5 YR 7/8)).

**APÊNDICE 2 - Elementos Químicos Analisados e
Extrações Utilizadas**

Tabela 1. Teores dos elementos químicos analisados segundo os métodos utilizados: ácido cítrico, ácido clorídrico, análise de rotina e digestão total por perfil estudado.

| Perfil | Horizonte | | Fósforo (mg/kg) | | | Potássio (mg/kg) | | | |
|----------|-----------------|----------------------|-----------------|--------------|------------|------------------|-------------|--------------|------------|
| | Símbolo | Profundidade | ác. clorid. | anál. rotina | dig. total | ác. cítrico | ác. clorid. | anál. rotina | dig. total |
| <u>1</u> | A ₁₁ | 0-26 | 0.47 | 2 | 2.75 | 35.6 | 75.0 | 50.83 | 10930.16 |
| | A ₁₂ | 26-42 | 0.29 | 1 | 2.06 | 15.0 | 70.0 | 7.82 | 11043.91 |
| | A ₁₃ | 42-88 | 0.25 | 1 | 2.02 | 21.0 | 65.0 | 7.82 | 12153.48 |
| | A ₁₄ | 88-125 | 0.29 | 1 | 2.18 | 20.0 | 75.0 | 7.82 | 16167.66 |
| | B ₁ | 125-140 | 0.25 | 1 | 1.77 | 16.0 | 72.5 | 3.91 | 16394.96 |
| | B ₂₁ | 140-160 | 0.18 | 1 | 1.58 | 13.1 | 60.0 | 3.91 | 16964.35 |
| | B ₂₂ | 160-180 ⁺ | 0.12 | 1 | 1.67 | 20.5 | 60.0 | 3.91 | 21439.11 |
| <u>2</u> | A ₁₁ | 0-20 | 0.42 | 2 | 2.68 | 32.5 | 60.0 | 31.28 | 9832.50 |
| | A ₁₂ | 20-56 | 0.40 | 1 | 1.88 | 14.5 | 42.5 | 7.82 | 10139.25 |
| | A ₁₃ | 56-75 | 0.34 | 1 | 1.78 | 13.5 | 50.0 | 3.91 | 10940.35 |
| | B ₁ | 75-92 | 0.33 | 1 | 1.88 | 14.0 | 65.0 | 3.91 | 11857.70 |
| | B ₂₁ | 92-110 | 0.54 | 1 | 1.89 | 14.0 | 72.5 | 7.82 | 14925.37 |
| | B ₂₂ | 110-134 | 0.45 | 1 | 1.93 | 15.0 | 75.0 | 7.82 | 15059.60 |
| | B ₂₃ | 134-154 ⁺ | 0.43 | 1 | 2.02 | 16.0 | 60.0 | 3.91 | 15651.92 |
| <u>3</u> | A ₁₁ | 0-21 | 0.70 | 3 | 3.25 | 42.5 | 85.0 | 46.92 | 9566.07 |
| | A ₁₂ | 21-47 | 0.40 | 1 | 2.02 | 16.5 | 47.5 | 7.82 | 8358.19 |
| | A ₃ | 47-58 | 0.24 | 1 | 1.82 | 13.0 | 30.0 | 3.91 | 9126.91 |
| | B ₁ | 58-76 | 0.22 | 1 | 2.08 | 9.5 | 37.5 | 3.91 | 13150.57 |
| | B ₂₁ | 79-97 | 0.23 | 1 | 1.77 | 15.0 | 40.0 | 3.91 | 11840.39 |
| | B ₂₂ | 97-115 | 0.22 | 1 | 2.07 | 15.0 | 35.0 | 3.91 | 13386.61 |
| | B ₂₃ | 115-133 | 0.23 | 1 | 1.88 | 15.5 | 45.0 | 7.82 | 14690.90 |
| | B ₂₄ | 133-153 ⁺ | 0.20 | 1 | 1.99 | 15.0 | 45.0 | 7.82 | 18371.40 |
| <u>4</u> | A ₁₁ | 0-11 | 0.38 | 2 | 3.35 | 36.0 | 70.0 | 35.19 | 19761.69 |
| | A ₁₂ | 11-21 | 0.31 | 1 | 3.01 | 23.5 | 52.5 | 15.64 | 20958.19 |
| | B ₁₁ | 21-30 | 0.26 | 1 | 2.58 | 15.5 | 45.0 | 7.82 | 20833.35 |
| | B ₁₂ | 30-42 | 0.24 | 1 | 2.56 | 16.0 | 47.5 | 7.82 | 21497.55 |
| | B ₂₁ | 42-62 | 0.24 | 1 | 2.19 | 12.0 | 50.0 | 7.82 | 22697.61 |
| | B ₂₂ | 62-75 | 0.25 | 1 | 2.27 | 12.5 | 50.0 | 7.82 | 25161.91 |
| | B ₂₃ | 75-91 | 0.30 | 1 | 2.48 | 13.5 | 52.5 | 7.82 | 28108.66 |
| | B ₂₄ | 91-113 | 0.26 | 1 | 2.28 | 19.0 | 62.5 | 3.91 | 44279.00 |
| | C ₁ | 113-137 | 0.59 | 1 | 2.43 | 25.5 | 87.5 | 3.91 | 85444.09 |
| | C ₂ | 137-157 ⁺ | 0.85 | 1 | 3.56 | 34.0 | 100.0 | 7.82 | 94153.46 |

cont.

| Perfil | Horizonte | | Cálcio (mg/kg) | | | | Magnésio (mg/kg) | | | |
|----------|-----------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|---------------|------------------|----------------|-----------------|---------------|
| | Símbo- lo | Profun- didade | ác. cítrico | ác. cloríd. | anál. rotina | dig. total | ác. cítrico | ác. cloríd. | anál. rotina | dig. total |
| <u>1</u> | A ₁₁ | 0-26 | 7.87 | 33.74 | 40.0 | 184.60 | 15.63 | 97.98 | 36.45 | 997.02 |
| | A ₁₂ | 26-42 | 4.00 | 17.15 | 40.0 | 190.31 | 8.39 | 106.48 | 36.45 | 1153.46 |
| | A ₁₃ | 42-88 | 3.62 | 18.83 | 40.0 | 197.05 | 7.69 | 110.70 | 24.30 | 1181.14 |
| | A ₁₄ | 88-125 | 2.18 | 11.24 | — | 211.12 | 7.54 | 151.48 | 24.30 | 1280.25 |
| | B ₁ | 125-140 | 2.29 | 10.68 | — | 123.09 | 7.14 | 116.47 | 24.30 | 1255.90 |
| | B ₂₁ | 140-160 | 1.93 | 10.12 | — | 154.47 | 10.69 | 88.47 | 24.30 | 1162.33 |
| | B ₂₂ | 160-180 ⁺ | 1.62 | 7.31 | — | 135.54 | 10.19 | 49.35 | 24.30 | 1195.16 |
| <u>2</u> | A ₁₁ | 0-20 | 6.49 | 22.21 | 40.0 | 186.10 | 11.49 | 58.97 | 24.30 | 794.45 |
| | A ₁₂ | 20-56 | 3.90 | 14.90 | 40.0 | 167.65 | 6.54 | 52.99 | 24.30 | 819.93 |
| | A ₁₃ | 56-75 | 3.30 | 13.21 | — | 142.12 | 5.69 | 68.22 | 24.30 | 1013.39 |
| | B ₁ | 75-92 | 3.30 | 16.59 | — | 166.75 | 5.59 | 76.72 | 24.30 | 1136.36 |
| | B ₂₁ | 92-110 | 3.12 | 13.77 | — | 124.38 | 5.39 | 79.70 | 24.30 | 1202.08 |
| | B ₂₂ | 110-134 | 2.87 | 11.81 | — | 136.67 | 5.64 | 77.71 | 24.30 | 1018.91 |
| | B ₂₃ | 134-154 ⁺ | 2.75 | 11.81 | — | 142.20 | 5.39 | 62.24 | 24.30 | 975.91 |
| <u>3</u> | A ₁₁ | 0-21 | 6.25 | 18.27 | 40.0 | 172.58 | 13.89 | 54.22 | 24.30 | 838.26 |
| | A ₁₂ | 21-47 | 2.50 | 9.23 | — | 222.55 | 6.59 | 45.99 | 24.30 | 741.84 |
| | A ₃ | 47-58 | 2.99 | 11.80 | — | 166.50 | 5.69 | 33.22 | 24.30 | 814.05 |
| | B ₁ | 58-76 | 2.68 | 10.68 | — | 148.92 | 4.64 | 39.48 | 24.30 | 1042.18 |
| | B ₂₁ | 79-97 | 2.65 | 9.56 | — | 148.06 | 6.24 | 34.50 | 24.30 | 900.53 |
| | B ₂₂ | 97-115 | 2.64 | 11.24 | — | 137.36 | 5.10 | 33.23 | 24.30 | 915.69 |
| | B ₂₃ | 115-133 | 1.31 | 7.59 | — | 148.12 | 4.69 | 32.99 | 24.30 | 1039.60 |
| | B ₂₄ | 133-153 ⁺ | 1.43 | 7.30 | — | 223.86 | 4.49 | 31.46 | 24.30 | 993.05 |
| <u>4</u> | A ₁₁ | 0-11 | 3.24 | 16.30 | 40.0 | 160.73 | 10.70 | 37.98 | 24.30 | 1064.14 |
| | A ₁₂ | 11-21 | 1.87 | 12.08 | — | 240.95 | 7.49 | 37.48 | 24.30 | 1223.43 |
| | B ₁₁ | 21-30 | 1.56 | 8.99 | — | 142.62 | 5.59 | 32.97 | 24.30 | 1264.85 |
| | B ₁₂ | 30-42 | 1.37 | 10.12 | — | 142.16 | 6.34 | 36.98 | 24.30 | 1346.32 |
| | B ₂₁ | 42-62 | 1.37 | 9.00 | — | 180.42 | 5.84 | 38.98 | 24.30 | 1418.50 |
| | B ₂₂ | 62-75 | 1.74 | 9.56 | — | 123.83 | 5.84 | 36.74 | 24.30 | 1448.90 |
| | B ₂₃ | 75-91 | 1.24 | 9.84 | — | 161.09 | 5.64 | 34.99 | 24.30 | 1529.75 |
| | B ₂₄ | 91-113 | 0.68 | 5.90 | — | 149.28 | 4.34 | 23.49 | 24.30 | 1641.80 |
| | C ₁ | 113-137 | 0.56 | 5.90 | — | 136.61 | 3.14 | 19.22 | 24.30 | 2235.51 |
| | C ₂ | 137-157 ⁺ | 0.74 | 5.06 | — | 130.10 | 3.10 | 18.99 | 24.30 | 2304.20 |

cont.

| Perfil | Horizonte | | Ferro (mg/kg) | | | Manganês (mg/kg) | | |
|----------|-----------------|----------------------|----------------|----------------|---------------|------------------|----------------|---------------|
| | Símbo- lo | Profun- didade | ác. cítrico | ác. clorid. | dig. total | ác. cítrico | ác. clorid. | dig. total |
| <u>1</u> | A ₁₁ | 0-26 | 679.67 | 8995.69 | 24371.92 | 67.92 | 98.20 | 157.55 |
| | A ₁₂ | 26-42 | 482.48 | 13937.58 | 28470.76 | 44.10 | 76.78 | 142.39 |
| | A ₁₃ | 42-88 | 424.68 | 10035.78 | 32387.71 | 47.66 | 95.71 | 160.25 |
| | A ₁₄ | 88-125 | 834.74 | 18646.50 | 36846.92 | 47.98 | 95.96 | 187.24 |
| | B ₁ | 125-140 | 664.58 | 15996.39 | 33580.26 | 34.78 | 71.98 | 142.82 |
| | B ₂₁ | 140-160 | 259.68 | 15737.55 | 30513.45 | 16.00 | 45.49 | 113.73 |
| | B ₂₂ | 160-180 ⁺ | 127.98 | 13576.29 | 30113.29 | 2.10 | 22.24 | 93.64 |
| <u>2</u> | A ₁₁ | 0-20 | 539.91 | 11071.05 | 26517.57 | 35.39 | 56.23 | 119.20 |
| | A ₁₂ | 20-56 | 344.89 | 9219.91 | 30467.02 | 19.59 | 37.75 | 114.30 |
| | A ₁₃ | 56-75 | 267.42 | 17492.03 | 32723.34 | 28.59 | 57.97 | 133.46 |
| | B ₁ | 75-92 | 204.90 | 21486.85 | 34140.31 | 26.29 | 60.98 | 123.51 |
| | B ₂₁ | 92-110 | 192.46 | 24298.36 | 39758.71 | 25.19 | 61.72 | 133.84 |
| | B ₂₂ | 110-134 | 204.92 | 23494.75 | 36729.31 | 25.19 | 59.47 | 124.24 |
| | B ₂₃ | 134-154 ⁺ | 149.91 | 23624.83 | 35089.58 | 18.39 | 48.99 | 118.64 |
| <u>3</u> | A ₁₁ | 0-21 | 642.20 | 11770.16 | 21696.25 | 7.19 | 22.99 | 78.89 |
| | A ₁₂ | 21-47 | 794.87 | 11797.61 | 20871.68 | 5.50 | 19.99 | 74.19 |
| | A ₃ | 47-58 | 439.87 | 5745.42 | 22792.45 | 5.90 | 14.73 | 78.93 |
| | B ₁ | 58-76 | 324.98 | 10372.13 | 28330.02 | 7.60 | 23.74 | 109.18 |
| | B ₂₁ | 79-97 | 214.94 | 7223.47 | 28121.80 | 8.80 | 20.24 | 98.71 |
| | B ₂₂ | 97-115 | 167.46 | 8370.58 | 30391.39 | 8.10 | 17.49 | 103.92 |
| | B ₂₃ | 115-133 | 127.42 | 10248.05 | 32010.00 | 8.00 | 20.49 | 104.22 |
| | B ₂₄ | 133-153 ⁺ | 94.99 | 15130.57 | 34212.50 | 2.10 | 19.72 | 109.41 |
| <u>4</u> | A ₁₁ | 0-11 | 1174.95 | 9547.07 | 30286.44 | 4.00 | 13.74 | 98.82 |
| | A ₁₂ | 11-21 | 1167.28 | 12368.26 | 32130.16 | 1.70 | 13.00 | 103.80 |
| | B ₁₁ | 21-30 | 797.43 | 10170.07 | 34226.71 | 0.80 | 11.24 | 99.20 |
| | B ₁₂ | 30-42 | 562.42 | 12870.63 | 34228.28 | 2.10 | 17.24 | 98.81 |
| | B ₂₁ | 42-62 | 319.80 | 15769.43 | 35539.40 | 2.40 | 22.74 | 109.50 |
| | B ₂₂ | 62-75 | 164.92 | 19846.03 | 38831.63 | 2.00 | 25.49 | 113.92 |
| | B ₂₃ | 75-91 | 154.96 | 22047.56 | 38500.85 | 2.10 | 29.49 | 104.46 |
| | B ₂₄ | 91-113 | 89.95 | 23216.36 | 34766.52 | 1.50 | 34.98 | 104.49 |
| | C ₁ | 113-137 | 42.99 | 20428.93 | 34877.12 | 0.70 | 34.96 | 104.45 |
| | C ₂ | 137-157 ⁺ | 53.97 | 25918.16 | 48861.87 | 0.75 | 42.49 | 118.57 |

cont.

| Perfil | Horizonte | | Zinco (mg/kg) | | | Cobre (mg/kg) | | |
|----------|-----------------|----------------------|---------------|-------------|------------|---------------|-------------|------------|
| | Símbolo | Profundidade | ác. cítrico | ác. clorid. | dig. total | ác. cítrico | ác. clorid. | dig. total |
| <u>1</u> | A ₁₁ | 0-26 | 1.10 | 4.00 | 29.52 | 0.35 | 5.00 | 19.70 |
| | A ₁₂ | 26-42 | 0.75 | 3.25 | 19.63 | 0.30 | 5.25 | 24.52 |
| | A ₁₃ | 42-88 | 0.50 | 3.00 | 31.20 | 0.20 | 5.25 | 36.13 |
| | A ₁₄ | 88-125 | 0.45 | 3.50 | 29.94 | 0.10 | 4.00 | 14.90 |
| | B ₁ | 125-140 | 0.30 | 2.00 | 39.39 | 0.10 | 3.75 | 9.84 |
| | B ₂₁ | 140-160 | 0.40 | 2.00 | 34.60 | 0.20 | 3.00 | 9.89 |
| | B ₂₂ | 160-180 ⁺ | 0.35 | 2.50 | 29.57 | 0.10 | 3.00 | 9.85 |
| <u>2</u> | A ₁₁ | 0-20 | 0.55 | 2.50 | 19.86 | 0.30 | 4.50 | 14.91 |
| | A ₁₂ | 20-56 | 0.20 | 1.50 | 24.86 | 0.20 | 4.25 | 9.94 |
| | A ₁₃ | 56-75 | 0.30 | 2.75 | 24.71 | 0.20 | 4.75 | 9.88 |
| | B ₁ | 75-92 | 0.30 | 3.75 | 29.64 | 0.10 | 5.00 | 9.88 |
| | B ₂₁ | 92-110 | 0.20 | 4.00 | 44.60 | 0.20 | 5.00 | 19.83 |
| | B ₂₂ | 110-134 | 0.30 | 4.00 | 39.76 | 0.30 | 4.75 | 14.90 |
| | B ₂₃ | 134-154 ⁺ | 0.50 | 3.75 | 39.54 | 0.30 | 4.00 | 19.77 |
| <u>3</u> | A ₁₁ | 0-21 | 0.80 | 3.00 | 29.59 | 0.30 | 4.00 | 19.72 |
| | A ₁₂ | 21-47 | 0.30 | 2.00 | 29.67 | 0.35 | 3.25 | 19.78 |
| | A ₃ | 47-58 | 0.25 | 1.00 | 29.60 | 0.40 | 3.00 | 14.80 |
| | B ₁ | 58-76 | 0.10 | 2.00 | 29.77 | 0.30 | 3.50 | 19.75 |
| | B ₂₁ | 79-97 | 0.30 | 1.50 | 29.59 | 0.30 | 3.00 | 14.78 |
| | B ₂₂ | 97-115 | 0.35 | 1.50 | 29.70 | 0.30 | 3.50 | 19.80 |
| | B ₂₃ | 115-133 | 0.40 | 1.75 | 29.70 | 0.30 | 3.00 | 19.85 |
| | B ₂₄ | 133-153 ⁺ | 0.10 | 2.50 | 29.83 | 0.30 | 3.50 | 19.89 |
| <u>4</u> | A ₁₁ | 0-11 | 0.80 | 2.50 | 29.64 | 0.30 | 3.50 | 19.76 |
| | A ₁₂ | 11-21 | 0.55 | 1.50 | 24.71 | 0.30 | 3.00 | 19.77 |
| | B ₁₁ | 21-30 | 0.35 | 1.50 | 24.79 | 0.30 | 3.00 | 9.92 |
| | B ₁₂ | 30-42 | 0.35 | 2.50 | 29.64 | 0.30 | 2.50 | 9.88 |
| | B ₂₁ | 42-62 | 0.80 | 2.25 | 29.86 | 0.20 | 2.75 | 9.95 |
| | B ₂₂ | 62-75 | 0.35 | 2.50 | 29.71 | 0.20 | 2.75 | 9.90 |
| | B ₂₃ | 75-91 | 0.25 | 3.50 | 29.94 | 0.30 | 3.00 | 9.95 |
| | B ₂₄ | 91-113 | 0.10 | 2.75 | 29.85 | 0.30 | 2.75 | 9.95 |
| | C ₁ | 113-137 | 0.35 | 2.75 | 29.80 | 0.40 | 3.00 | 9.93 |
| | C ₂ | 137-157 ⁺ | 0.25 | 3.25 | 29.73 | 0.40 | 4.75 | 14.85 |

cont.

| Perfil | Horizonte | | Alumínio (mg/kg) | | | |
|----------|-----------------|----------------------|------------------|----------------|-----------------|---------------|
| | Simbo- lo | Profun- didade | ác. citríco | ác. clorid. | anal. rotina | dig. total |
| <u>1</u> | A ₁₁ | 0-26 | 1763.66 | 11047.03 | 305.66 | 56967.79 |
| | A ₁₂ | 26-42 | 1962.42 | 14391.82 | 314.65 | 68280.43 |
| | A ₁₃ | 42-88 | 1975.06 | 14913.68 | 269.70 | 76148.79 |
| | A ₁₄ | 88-125 | 2575.18 | 23071.36 | 215.76 | 91128.98 |
| | B ₁ | 125-140 | 2269.59 | 16827.50 | 215.76 | 77996.85 |
| | B ₂₁ | 140-160 | 1862.55 | 13442.00 | 206.77 | 77444.58 |
| | B ₂₂ | 160-180 ⁺ | 1261.90 | 9403.73 | 215.76 | 83637.35 |
| <u>2</u> | A ₁₁ | 0-20 | 1495.74 | 10903.18 | 305.66 | 58248.15 |
| | A ₁₂ | 20-56 | 1457.03 | 11812.38 | 251.72 | 68145.76 |
| | A ₁₃ | 56-75 | 1351.14 | 15392.97 | 251.72 | 69994.97 |
| | B ₁ | 75-92 | 1448.81 | 19062.85 | 233.74 | 73814.22 |
| | B ₂₁ | 92-110 | 1484.74 | 21651.24 | 215.76 | 78754.94 |
| | B ₂₂ | 110-134 | 1570.52 | 22283.07 | 188.79 | 79323.93 |
| | B ₂₃ | 134-154 ⁺ | 1330.70 | 18223.53 | 170.81 | 77489.61 |
| <u>3</u> | A ₁₁ | 0-21 | 1561.78 | 10295.77 | 350.61 | 56656.80 |
| | A ₁₂ | 21-47 | 1713.22 | 11229.00 | 260.71 | 56082.72 |
| | A ₃ | 47-58 | 1335.12 | 7993.72 | 242.73 | 60039.94 |
| | B ₁ | 58-76 | 1385.69 | 11171.98 | 233.74 | 77664.78 |
| | B ₂₁ | 79-97 | 1349.52 | 8891.88 | 224.75 | 74543.16 |
| | B ₂₂ | 97-115 | 1294.67 | 8745.36 | 197.78 | 83534.47 |
| | B ₂₃ | 115-133 | 1166.84 | 11260.04 | 188.79 | 81090.09 |
| | B ₂₄ | 133-153 ⁺ | 990.93 | 10542.57 | 179.80 | 87785.50 |
| <u>4</u> | A ₁₁ | 0-11 | 1877.42 | 7403.95 | 395.56 | 83641.98 |
| | A ₁₂ | 11-21 | 1820.65 | 8514.18 | 332.63 | 84782.60 |
| | B ₁₁ | 21-30 | 1516.38 | 8046.52 | 323.64 | 93255.73 |
| | B ₁₂ | 30-42 | 1495.30 | 8753.42 | 305.66 | 83499.79 |
| | B ₂₁ | 42-62 | 1382.15 | 9384.24 | 296.67 | 84394.42 |
| | B ₂₂ | 62-75 | 1214.48 | 9491.85 | 242.73 | 103471.34 |
| | B ₂₃ | 75-91 | 1305.64 | 9523.94 | 314.65 | 108004.82 |
| | B ₂₄ | 91-113 | 1038.97 | 7184.84 | 287.68 | 102544.02 |
| | C ₁ | 113-137 | 860.82 | 5400.63 | 350.61 | 135838.77 |
| | C ₂ | 137-157 ⁺ | 775.59 | 5230.67 | 341.62 | 132412.44 |

APÊNDICE 3 ~ Análise Física dos Perfis

Perfil 1

| Horizonte | | Frações da Amostra Total | | | Composição Granulométrica de Terra Fina (dispersão com NaOH) | | | | |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Sím- bolo | Profun- didade | Calhau >20mm | Cascalho 20-2mm | Terra Fina <2mm | Areia grossa 2-0,20 mm | Areia fina 0,20- 0,05 mm | silte 0,05-0,002 mm | argila <0,02 mm | %silte %argila |
| A ₁₁ | 0-26 | 0 | 0 | 100 | 19.6 | 35.6 | 12.8 | 32.0 | 0.40 |
| A ₁₂ | 26-42 | 0 | 0 | 100 | 19.6 | 32.5 | 12.4 | 35.5 | 0.35 |
| A ₁₃ | 42-88 | 0 | 0 | 100 | 17.1 | 31.6 | 13.2 | 38.1 | 0.35 |
| A ₁₄ | 88-125 | 0 | 0 | 100 | 15.3 | 28.5 | 12.3 | 43.9 | 0.28 |
| B ₁ | 125-140 | 0 | 0 | 100 | 14.5 | 30.6 | 13.1 | 41.8 | 0.31 |
| B ₂₁ | 140-160 | 0 | 0 | 100 | 15.5 | 33.1 | 11.5 | 40.0 | 0.29 |
| B ₂₂ | 160-180 ⁺ | 0 | 0 | 100 | 14.1 | 28.8 | 12.7 | 44.4 | 0.29 |

Perfil 2

| Horizonte | | Frações da Amostra Total | | | Composição Granulométrica de Terra Fina (dispersão com NaOH) | | | | |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Sím- bolo | Profun- didade | Calhau >20mm | Cascalho 20-2mm | Terra Fina <2mm | Areia grossa 2-0,20 mm | Areia fina 0,20- 0,05 mm | silte 0,05-0,002 mm | argila <0,02 mm | %silte %argila |
| A ₁₁ | 0-20 | 0 | 0 | 100 | 23.2 | 32.1 | 11.3 | 33.4 | 0.34 |
| A ₁₂ | 20-56 | 0 | 0 | 100 | 21.5 | 33.5 | 10.7 | 34.3 | 0.31 |
| A ₁₃ | 56-75 | 0 | 0 | 100 | 18.6 | 32.0 | 11.9 | 37.5 | 0.32 |
| B ₁ | 75-92 | 0 | 0 | 100 | 19.0 | 31.3 | 10.0 | 39.8 | 0.25 |
| B ₂₁ | 92-110 | 0 | 0 | 100 | 18.0 | 28.2 | 11.0 | 42.8 | 0.26 |
| B ₂₂ | 110-134 | 0 | 0 | 100 | 17.5 | 28.3 | 9.0 | 45.2 | 0.20 |
| B ₂₃ | 134-154 ⁺ | 0 | 0 | 100 | 17.9 | 26.1 | 10.1 | 45.9 | 0.22 |

Perfil 3

| Horizonte | | Frações da Amostra Total | | | Composição Granulométrica de Terra Fina (dispersão com NaOH) | | | | |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Sím- bolo | Profun- didade | Calhau >20mm | Cascalho 20-2mm | Terra Fina <2mm | Areia grossa 2-0,20 mm | Areia fina 0,20- 0,05 mm | silte 0,05-0,002 mm | argila <0,02 mm | %silte %argila |
| A ₁₁ | 0-21 | 0 | 0 | 100 | 35.9 | 24.1 | 10.2 | 29.8 | 0.34 |
| A ₁₂ | 21-47 | 0 | 0 | 100 | 31.0 | 30.0 | 7.9 | 31.1 | 0.25 |
| A ₃ | 47-58 | 0 | 0 | 100 | 30.4 | 28.2 | 7.3 | 34.1 | 0.21 |
| B ₁ | 58-76 | 0 | 0 | 100 | 27.5 | 27.5 | 7.9 | 37.1 | 0.21 |
| B ₂₁ | 76-97 | 0 | 0 | 100 | 25.1 | 28.7 | 9.6 | 36.6 | 0.26 |
| B ₂₂ | 97-115 | 0 | 0 | 100 | 20.1 | 29.6 | 8.3 | 42.0 | 0.20 |
| B ₂₃ | 115-133 | 0 | 0 | 100 | 24.3 | 24.3 | 8.6 | 42.8 | 0.20 |
| B ₂₄ | 133-153 ⁺ | 0 | 0 | 100 | 24.7 | 24.7 | 8.9 | 45.3 | 0.20 |

Perfil 4

| Horizonte | | Frações da Amostra Total | | | Composição Granulométrica de Terra Fina (dispersão com NaOH) | | | | |
|-----------------|----------------------|--------------------------|--------------------|--------------------|---|--------------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------|
| Sím- bolo | Profun- didade | Calhau >20mm | Cascalho 20-2mm | Terra Fina <2mm | Areia grossa 2-0,20 mm | Areia fina 0,20- 0,05 mm | silte 0,05-0,002 mm | argila <0,02 mm | %silte %argila |
| A ₁₁ | 0-11 | 0 | 0 | 100 | 19.0 | 21.6 | 20.5 | 38.9 | 0.53 |
| A ₁₂ | 11-21 | 0 | 0 | 100 | 17.0 | 26.3 | 15.0 | 41.8 | 0.36 |
| B ₁₁ | 21-30 | 0 | 0 | 100 | 10.8 | 18.8 | 27.5 | 42.9 | 0.64 |
| B ₁₂ | 30-42 | 0 | 0 | 100 | 12.8 | 21.1 | 21.7 | 44.4 | 0.49 |
| B ₂₁ | 42-62 | 0 | 0 | 100 | 13.6 | 22.6 | 18.9 | 44.9 | 0.42 |
| B ₂₂ | 62-75 | 0 | 0 | 100 | 10.8 | 21.1 | 17.0 | 51.1 | 0.33 |
| B ₂₃ | 75-91 | 0 | 0 | 100 | 12.0 | 21.3 | 17.0 | 49.7 | 0.34 |
| B ₂₄ | 91-113 | 0 | 0 | 100 | 5.8 | 18.5 | 25.8 | 49.9 | 0.52 |
| C ₁ | 113-137 | 0 | 0 | 100 | 5.8 | 11.1 | 36.0 | 47.1 | 0.76 |
| C ₂ | 137-157 ⁺ | 0 | 0 | 100 | 2.8 | 11.6 | 39.0 | 46.6 | 0.84 |

**APÊNDICE 4 - Complexo Sortivo
e pH**

Perfil 1

| Hori-zonte | Profund. (cm) | C % orgânico | N % | C/N |
|-----------------|----------------------|--------------|-------|-------|
| A ₁₁ | 0-26 | 1.95 | 0.167 | 11.68 |
| A ₁₂ | 26-42 | 1.34 | 0.083 | 16.14 |
| A ₁₃ | 42-88 | 1.09 | 0.070 | 15.57 |
| A ₁₄ | 88-125 | 0.93 | 0.056 | 16.61 |
| B ₁ | 125-140 | 0.63 | 0.028 | 22.50 |
| B ₂₁ | 140-160 | 0.44 | 0.014 | 31.42 |
| B ₂₂ | 160-180 ⁺ | 0.25 | 0.014 | 17.86 |

| pH | | | Complexo Sortivo c.mol _e /dm ³ | | | | | | | | | |
|------|-----|-------------------|--|------------------|----------------|---------|-------------------|----------------|-----------|-----------|---|------------------|
| água | SMP | CaCl ₂ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Valor S | Al ⁺⁺⁺ | H ⁺ | Valor CTC | Valor V % | $\frac{100 \cdot Al^{+++}}{Al^{+++} + S}$ | Fosforo Assimil. |
| 4.5 | 4.7 | 4.0 | 0.2 | 0.3 | 0.13 | 0.63 | 3.4 | 6.8 | 10.83 | 5.82 | 84.37 | 2 |
| 4.6 | 4.8 | 4.1 | 0.2 | 0.3 | 0.02 | 0.52 | 3.5 | 5.3 | 9.32 | 5.58 | 87.06 | 1 |
| 4.7 | 5.0 | 4.2 | 0.2 | 0.2 | 0.02 | 0.42 | 3.0 | 4.7 | 8.12 | 5.17 | 87.72 | 1 |
| 5.0 | 5.0 | 4.3 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 2.4 | 4.9 | 7.52 | 2.92 | 91.60 | 1 |
| 5.0 | 5.3 | 4.3 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.4 | 3.7 | 6.31 | 3.33 | 91.95 | 1 |
| 4.9 | 5.4 | 4.3 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.3 | 2.8 | 5.31 | 3.95 | 91.63 | 1 |
| 4.7 | 5.5 | 4.4 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.4 | 2.6 | 5.21 | 4.03 | 91.95 | 1 |

Perfil 2

| Hori-zonte | Profund. (cm) | C% orgânico | N % | C/N |
|-----------------|----------------------|-------------|-------|-------|
| A ₁₁ | 0-20 | 2.51 | 0.166 | 15.30 |
| A ₁₂ | 20-56 | 1.34 | 0.096 | 13.96 |
| A ₁₃ | 56-75 | 0.95 | 0.083 | 11.44 |
| B ₁ | 75-92 | 0.81 | 0.083 | 9.76 |
| B ₂₁ | 92-110 | 0.85 | 0.083 | 10.24 |
| B ₂₂ | 110-134 | 0.70 | 0.070 | 10.0 |
| B ₂₃ | 134-154 ⁺ | 0.46 | 0.041 | 11.22 |

| pH | | | Complexo Sortivo c.mol _e /dm ³ | | | | | | | | | |
|------|-----|-------------------|--|------------------|----------------|---------|-------------------|----------------|-----------|-----------|---|------------------|
| água | SMP | CaCl ₂ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Valor S | Al ⁺⁺⁺ | H ⁺ | Valor CTC | Valor V % | $\frac{100 \cdot Al^{+++}}{Al^{+++} + S}$ | Fosforo Assimil. |
| 4.7 | 4.8 | 4.0 | 0.2 | 0.2 | 0.08 | 0.48 | 3.4 | 6.4 | 10.28 | 4.67 | 87.63 | 2 |
| 4.6 | 5.0 | 4.2 | 0.2 | 0.2 | 0.02 | 0.42 | 2.8 | 4.7 | 7.92 | 5.30 | 86.96 | 1 |
| 4.7 | 5.1 | 4.2 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.8 | 4.3 | 7.31 | 2.87 | 93.02 | 1 |
| 4.8 | 5.1 | 4.2 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.6 | 3.2 | 6.01 | 3.50 | 92.53 | 1 |
| 4.9 | 5.1 | 4.2 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 2.4 | 3.3 | 5.92 | 3.72 | 91.60 | 1 |
| 4.9 | 5.3 | 4.3 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 2.1 | 2.6 | 4.92 | 4.47 | 90.52 | 1 |
| 4.8 | 5.5 | 4.3 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 1.9 | 2.1 | 4.21 | 4.99 | 90.05 | 1 |

perfil 3

| hori-zonte | profund. (cm) | C% orgânico | N % | C/N |
|-----------------|----------------------|-------------|-------|-------|
| A ₁₁ | 0-21 | 3.23 | 0.248 | 13.02 |
| A ₁₂ | 21-47 | 1.48 | 0.124 | 11.93 |
| A ₃ | 47-58 | 0.85 | 0.083 | 10.24 |
| B ₁ | 58-76 | 0.78 | 0.069 | 11.30 |
| B ₂₁ | 79-97 | 0.64 | 0.055 | 11.63 |
| B ₂₂ | 97-115 | 0.59 | 0.055 | 10.73 |
| B ₂₃ | 115-133 | 0.46 | 0.055 | 8.36 |
| B ₂₄ | 133-153 ⁺ | 0.36 | 0.055 | 6.54 |

| pH | | | Complexo Sortivo c.mol./dm ³ | | | | | | | | | |
|------|-----|-------------------|---|------------------|----------------|---------|-------------------|----------------|-----------|-----------|---|------------------|
| água | SMP | CaCl ₂ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Valor S | Al ⁺⁺⁺ | H ⁺ | Valor CTC | Valor V % | $\frac{100 \cdot Al^{+++}}{Al^{5++} + S}$ | Fosforo Assimil. |
| 4.4 | 4.7 | 3.8 | 0.2 | 0.2 | 0.12 | 0.52 | 3.9 | 7.6 | 12.02 | 4.33 | 88.23 | 3 |
| 4.9 | 5.0 | 4.2 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 2.9 | 4.2 | 7.32 | 3.00 | 92.95 | 1 |
| 5.0 | 5.2 | 4.2 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.7 | 3.0 | 5.91 | 3.55 | 92.78 | 1 |
| 4.9 | 5.2 | 4.2 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.6 | 2.8 | 5.61 | 3.74 | 92.53 | 1 |
| 5.0 | 5.2 | 4.2 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.5 | 2.8 | 5.51 | 3.81 | 92.25 | 1 |
| 5.1 | 5.4 | 4.3 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 2.2 | 2.3 | 4.71 | 4.45 | 91.29 | 1 |
| 5.1 | 5.4 | 4.3 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 2.1 | 2.1 | 4.42 | 4.97 | 90.52 | 1 |
| 5.1 | 5.4 | 4.3 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 2.0 | 1.8 | 4.02 | 5.47 | 90.09 | 1 |

Perfil 4

| hori-zonte | profund. (cm) | C% orgânico | N % | C/N |
|-----------------|----------------------|-------------|-------|-------|
| A ₁₁ | 0-11 | 2.60 | 0.194 | 13.40 |
| A ₁₂ | 11-21 | 1.51 | 0.138 | 10.94 |
| B ₁₁ | 21-30 | 1.14 | 0.097 | 11.75 |
| B ₁₂ | 30-42 | 1.02 | 0.084 | 12.14 |
| B ₂₁ | 42-62 | 0.71 | 0.070 | 10.14 |
| B ₂₂ | 62-75 | 0.59 | 0.042 | 14.05 |
| B ₂₃ | 75-91 | 0.53 | 0.042 | 12.62 |
| B ₂₄ | 91-113 | 0.24 | 0.028 | 8.57 |
| C ₁ | 113-137 | 0.10 | 0.028 | 3.57 |
| C ₂ | 137-157 ⁺ | 0.11 | 0.014 | 7.86 |

| pH | | | Complexo Sortivo c.mol./dm ³ | | | | | | | | | |
|------|-----|-------------------|---|------------------|----------------|---------|-------------------|----------------|-----------|-----------|--|------------------|
| água | SMP | CaCl ₂ | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | K ⁺ | Valor S | Al ⁺⁺⁺ | H ⁺ | Valor CTC | Valor V % | 100.Al ⁺⁺⁺ Al ⁺⁺⁺ + S | Fosforo Assimil. |
| 4.7 | 4.7 | 4.1 | 0.2 | 0.2 | 0.09 | 0.49 | 4.4 | 5.9 | 10.79 | 4.54 | 89.98 | 2 |
| 4.9 | 4.7 | 4.1 | — | 0.2 | 0.04 | 0.24 | 3.7 | 4.5 | 8.44 | 2.84 | 93.91 | 1 |
| 5.0 | 4.9 | 4.2 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 3.6 | 2.9 | 6.72 | 3.27 | 57.60 | 1 |
| 5.1 | 4.9 | 4.5 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 3.4 | 3.0 | 6.62 | 3.32 | 60.77 | 1 |
| 5.1 | 5.0 | 4.3 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 3.3 | 2.6 | 6.12 | 3.59 | 62.50 | 1 |
| 5.0 | 5.0 | 4.3 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 2.7 | 2.6 | 5.52 | 3.98 | 75.34 | 1 |
| 5.0 | 5.0 | 4.3 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 3.5 | 1.7 | 5.42 | 4.06 | 59.14 | 1 |
| 5.3 | 5.1 | 4.3 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 3.2 | 1.0 | 4.31 | 4.87 | 61.58 | 1 |
| 5.4 | 5.0 | 4.3 | — | 0.2 | 0.01 | 0.21 | 3.9 | 0.4 | 4.51 | 4.66 | 51.09 | 1 |
| 5.4 | 4.9 | 4.4 | — | 0.2 | 0.02 | 0.22 | 3.8 | 0.5 | 4.52 | 4.87 | 54.73 | 1 |

APÊNDICE 5 - Análise de Regressão

1. Análise de regressão entre o teor total (X) dos nutrientes no solo e os métodos utilizados na extração (Y): ácido cítrico 1% e ácido clorídrico 10% para a profundidade de 0-20 cm.

| Váriavel independente teor total do nutriente | Equação | R ² | SYX | F |
|--|--|----------------|---------|-----------|
| fósforo | (2) $Y = \exp(-0,297926 - 0,205909X)$ | 0,1815 | 0,21984 | 4,87893* |
| | (3) $Y = 0,837683 + 0,413313X$ | 0,1194 | 0,56441 | 2,98253ns |
| potássio | (1) $Y = -48,2321 + 0,01282X - 4,445267E-7X^2$ | 0,2352 | 7,6204 | 4,53587* |
| | (2) $Y = -104,2160 + 0,02588X - 8,69929E-7X^2$ | 0,4872 | 10,1519 | 11,9266* |
| cálcio | (1) $Y = -18,89162 + 0,274984X - 0,000757X^2$ | 0,5786 | 1,2946 | 16,7913* |
| | (2) $Y = -2,7477 X^{1,11832}$ | 0,6445 | 0,2152 | 39,8836* |
| magnésio | (1) $Y = 0,0842783 X^{0,345742}$ | 0,1278 | 0,14326 | 3,22387ns |
| | (2) $Y = -3,05809 X^{1,04222}$ | 0,1963 | 0,33447 | 5,37470* |
| ferro | (1) $Y = 8943,0788 - 0,67386X + 0,000014X^2$ | 0,5709 | 183,545 | 16,3056* |
| | (2) $Y = -2459,58 + 0,680628X$ | 0,4107 | 3139,32 | 1,5E001ns |
| manganês | (1) $Y = -41,6345 + 0,587078X$ | 0,9363 | 6,29931 | 323,12* |
| | (2) $Y = -45,175 + 0,80263X$ | 0,9408 | 8,27856 | 349,69* |
| cobre | (1) $Y = \exp(-0,892964 - 0,0252521X)$ | 0,2437 | 0,21997 | 7,09036* |
| | (2) $Y = -2,867606 + 1,091079X - 0,038769X^2$ | 0,2500 | 0,61125 | 4,83366* |
| zinco | (1) $Y = -0,24606 - 7,45651E-3X$ | 0,0217 | 0,28598 | 0,0217ns |
| | (2) $Y = 0,981293 + 0,0818553X$ | 0,2553 | 0,50529 | 7,54298* |
| alumínio | (1) $Y = 727,603 + 0,0178235X$ | 0,6011 | 183,71 | 33,0* |
| | (2) $Y = -5,56829E4 + 1,97785X - 0,000014X^2$ | 0,39060 | 1586,22 | 8,37105* |
| | (3) $Y = -3,9282 X^{0,47868}$ | 0,6271 | 0,06768 | 37,0009* |

(1) Extração com ácido cítrico 1%

(2) Extração com ácido clorídrico 10%

(3) Análise de rotina (P e K - extrator Mehlich; Ca e Mg - KCl 1N; Al - acetato de cálcio)

* significância ao nível de 5%

ns não significativo

2. Análise de regressão entre as características do solo (X) e o diâmetro dominante (Y) de *Eucalyptus dunnii*, para a profundidade de 0-20 cm e espessura do horizonte A.

| Váriavel independente teor total do nutriente | Equação | R ² | SYX | F |
|--|--|----------------|----------|-----------|
| fósforo | (2) $Y = -2,16239 + 57,1101 X$ | 0,7058 | 2,72181 | 4,79885ns |
| | (3) $Y = 4,17063 X^{-1,60889}$ | 0,9966 | 0,01525 | 584,5811* |
| | (4) $Y = \exp(4,45208 - 0,447008X)$ | 0,8277 | 0,10844 | 9,60622ns |
| potássio | (1) $Y = 263,2294 - 13,39948X + 0,179108X^2$ | 0,9619 | 0,79971 | 38,5786* |
| | (2) $Y = 11,2291 + 0,124462X$ | 0,1602 | 4,59871 | 0,38164ns |
| | (3) $Y = 15,2714 + 53,5714X$ | 0,1197 | 4,70854 | 0,27184ns |
| cálcio | (4) $Y = 82,861364 - 1544,924X + 8810,606X^2$ | 0,9746 | 0,65279 | 58,5979* |
| | (1) $Y = 7,89264 + 2,91745X$ | 0,9932 | 0,41355 | 292,5080* |
| | (2) $Y = 9,19138 + 0,605301X$ | 0,8283 | 2,07974 | 9,64484ns |
| magnésio | (4) $Y = 5,34543 + 0,0980369X$ | 0,7187 | 2,66185 | 5,10861ns |
| | (1) $Y = 1,81884 + 1,56692X$ | 0,3629 | 4,00547 | 1,13937ns |
| | (2) $Y = 12,1479 + 0,119688X$ | 0,6974 | 2,76054 | 4,60943ns |
| ferro | (3) $Y = 10,9404 + 59,2308X$ | 0,1811 | 4,54125 | 0,44230ns |
| | (4) $Y = 288,43538 - 3750,7692X + 12700X^2$ | 0,9450 | 0,960969 | 26,7710* |
| | (1) $Y = 32,7536 - 0,0135883X$ | 0,7270 | 2,62192 | 5,32676ns |
| manganês | (2) $Y = -130,67234 + 0,020892X - 7,0247X^2$ | 0,9586 | 0,83372 | 35,7310* |
| | (4) $Y = -150,8308 + 0,013908X - 2,7721E-7X^2$ | 0,8954 | 1,32525 | 13,8392ns |
| | (1) $Y = 2,51337 X^{0,168277}$ | 0,9437 | 0,06198 | 33,5293* |
| cobre | (2) $Y = 14,62334 + 0,11099X$ | 0,8716 | 1,79803 | 13,5796ns |
| | (4) $Y = 9,22661 + 0,092427X$ | 0,8247 | 2,10093 | 9,41106ns |
| | (1) $Y = 0,102709 + 67,4266X$ | 0,9997 | 0,09126 | 6044,830* |
| zinco | (2) $Y = 0,219431 + 5,00781X$ | 0,8290 | 2,07544 | 9,69312ns |
| | (4) $Y = 3,68005 - 0,0478142X$ | 0,8446 | 0,10298 | 10,8687ns |
| | (1) $Y = -247,5182 + 788,9565X - 572,5186X^2$ | 0,9470 | 0,92573 | 28,8868*s |
| alumínio | (2) $Y = 7,27302 + 3,8503X$ | 0,7865 | 2,31901 | 7,36580ns |
| | (4) $Y = 12,3971 + 0,266783X$ | 0,0901 | 4,78695 | 0,19802ns |
| | (1) $Y = \exp(3,61073 - 3,38588E-4X)$ | 0,1937 | 0,23456 | 0,48058ns |
| alumínio | (2) $Y = 1,64676 + 1,76993E-3X$ | 0,8295 | 2,07207 | 9,73114ns |
| | (3) $Y = \exp(3,88379 - 0,230547X)$ | 0,1833 | 0,23607 | 0,44892ns |
| | (4) $Y = 3,70907 - 1,13127E-5X$ | 0,4910 | 0,18636 | 1,92966ns |

cont.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------------------|--------|---------|-----------|
| nitrogênio | $Y = 6,3982 X^{-1,95576}$ | 0,1806 | 0,23646 | 0,44077ns |
| carbono | $Y = 3,79911 X^{-0,963929}$ | 0,3872 | 0,20449 | 1,26379ns |
| pH água | $Y = 13,2636 X^{-6,70729}$ | 0,9154 | 0,07597 | 21,64511* |
| pH SMP | $Y = -0,326729 X^{2,11604}$ | 0,0145 | 0,25931 | 0,29515ns |
| pH CaCl ₂ | $Y = 23,1876 X^{-14,5191}$ | 0,7064 | 0,14155 | 4,81107ns |
| 100.Al/Al+S | $Y = 276,989 - 2,83446X$ | 0,9095 | 1,50957 | 20,10251* |
| teor areia grossa | $Y = 2,05891 X^{0,290875}$ | 0,1523 | 0,24050 | 0,35942ns |
| teor areia fina | $Y = \exp (1,50726 + 0,0516958X)$ | 0,9717 | 0,04397 | 68,59915* |
| teor de silte | $Y = \exp (3,54866 - 0,0389506X)$ | 0,5742 | 0,17046 | 2,69686ns |
| teor de argila | $Y = \exp (3,73706 - 0,0231142X)$ | 0,2999 | 0,21857 | 0,85675ns |
| espessura horizonte A | $Y = Y = 1,83466 X^{0,279517}$ | 0,9662 | 0,04800 | 57,23032* |

(1) Extração com ácido cítrico 1%

(2) Extração com ácido clorídrico 10%

(3) Análise de rotina (P e K-extrator de Mehlich; Ca e Mg -KCl 1N; Al-acetato de cálcio)

(4) Digestão total

* significância ao nível de 5%

ns não significativo

3. Análise de regressão entre as características do solo (X) e a altura dominante (Y) de *Eucalyptus dunnii*, para a profundidade de 0-20 cm e espessura do horizonte A.

| Váriavel independente teor total do nutriente | Equação | R ² | SYX | F |
|--|--|----------------|---------|-----------|
| fósforo | (2) $Y = 4,3589 X^{1,30142}$ | 0,4817 | 0,24882 | 1,85849ns |
| | (3) $Y = 65,346 - 19,9511X$ | 0,9438 | 1,70432 | 33,61461* |
| | (4) $Y = 66,2626 - 13,0656 X$ | 0,9328 | 1,86377 | 27,78150* |
| potássio | (1) $Y = 441,977097 - 22,77667X + 0,30034X^2$ | 0,9506 | 1,30477 | 29,8830* |
| | (2) $Y = 19,307 + 0,527472X$ | 0,0140 | 7,14144 | 0,02842ns |
| | (3) $Y = 124,997 - 2424,9090X + 13439,394X^2$ | 0,9724 | 0,97483 | 53,9300* |
| | (4) $Y = \exp(3,72548 - 5,00218E-5X)$ | 0,6397 | 0,20744 | 3,55095ns |
| cálcio | (1) $Y = 2,08268 X^{0,73149}$ | 0,9407 | 0,08419 | 31,70034* |
| | (2) $Y = 1,27838 X^{0,64716}$ | 0,5816 | 0,22354 | 2,78039ns |
| | (4) $Y = 6,89345 + 0,108714X$ | 0,4303 | 5,42861 | 1,51038ns |
| magnésio | (1) $Y = 8,2035 + 1,2505X$ | 0,1185 | 6,75239 | 0,26890ns |
| | (2) $Y = 14,4918 + 0,131865X$ | 0,4122 | 5,51417 | 1,40229ns |
| | (3) $Y = \exp(2,67532 + 2,86677X)$ | 0,0895 | 0,32978 | 0,19648ns |
| | (4) $Y = \exp(3,75651 - 6,742E-1X)$ | 0,1328 | 0,32183 | 0,30636ns |
| ferro | (1) $Y = 10,6709 X^{-1,10714}$ | 0,9549 | 0,07335 | 42,39295* |
| | (2) $Y = -190,5981 + 0,02965X - 9,96931E-7X^2$ | 0,9042 | 1,8175 | 15,1585ns |
| | (3) $Y = -214,1143 + 0,01946X - 3,90276E-7X^2$ | 0,9713 | 0,99478 | 51,7688* |
| manganês | (1) $Y = 2,53006 X^{0,208367}$ | 0,8548 | 0,13169 | 11,7743ns |
| | (2) $Y = 1,99953 X^{0,30475}$ | 0,6957 | 0,19064 | 4,57295ns |
| | (4) $Y = 9,7743 + 0,114904X$ | 0,6206 | 4,43005 | 3,27124ns |
| cobre | (1) $Y = 4,6898 X^{1,2715}$ | 0,9312 | 0,09064 | 27,07818* |
| | (2) $Y = -0,753045 + 6,05442X$ | 0,5899 | 4,60551 | 2,87725ns |
| | (4) $Y = 43,698 - 1,39764X$ | 0,9520 | 1,57563 | 39,66973* |
| zinco | (1) $Y = -353,736 + 1106,6116X - 799,1814X^2$ | 0,9294 | 1,55994 | 20,7560* |
| | (2) $Y = 8,26536 + 4,50449X$ | 0,5241 | 4,96155 | 2,20239ns |
| | (4) $Y = 3,5114 X^{-0,12244}$ | 0,500 | 0,34447 | 0,01009ns |
| alumínio | (1) $Y = \exp(4,36609 - 6,66489E-4X)$ | 0,4289 | 0,26118 | 1,50186ns |
| | (2) $Y = 1,61233E-3 + 2,23438E-3X$ | 0,6436 | 4,29332 | 3,61233ns |
| | (3) $Y = -839,2617 + 441,0188X - 55,96568X^2$ | 0,6454 | 3,49691 | 3,72992ns |
| | (4) $Y = -190,1761 + 0,00625X - 4,8382E-8X^2$ | 0,9736 | 0,95329 | 56,4180* |

cont.

| | | | | |
|-----------------------|---|--------|---------|-----------|
| nitrogênio | $Y = 7566,204 - 7,95207E4X + 2,09333E5X^2$ | 0,5289 | 4,03051 | 2,68406ns |
| carbono | $Y = 47,4633 - 10,2997X$ | 0,3456 | 5,81806 | 1,05614ns |
| pH água | $Y = 17,2396 X^{-9,26406}$ | 0,9977 | 0,01658 | 866,7647* |
| pH SMP | $Y = -10,348 X^{8,63452}$ | 0,1383 | 0,32080 | 0,32110ns |
| pH CaCl ₂ | $Y = 32,4772 X^{-21,0934}$ | 0,8518 | 0,13306 | 11,4910ns |
| 100.Al/Al+S | $Y = -2,239679E4 + 499,70551X - 2,78362X^2$ | 0,9206 | 1,65519 | 18,3801ns |
| teor areia grossa | $Y = 1,39505 X^{0,545878}$ | 0,3065 | 0,2878 | 0,88399ns |
| teor areia fina | $Y = -3,11864 X^{1,86646}$ | 0,9947 | 0,02507 | 378,0640* |
| teor de silte | $Y = \exp(3,96672 - 0,058006X)$ | 0,7275 | 0,18040 | 5,33980ns |
| teor de argila | $Y = \exp(4,3996 - 0,0390133X)$ | 0,4881 | 0,24726 | 1,90711ns |
| espessura horizonte A | $Y = 1,63704 X^{0,36141}$ | 0,9229 | 0,09598 | 23,92901* |

(1) Extração com ácido cítrico 1%

(2) Extração com ácido clorídrico 10%

(3) Análise de rotina (P e K -extrator Mehlich; Ca e Mg - KCl 1N; Al - acetato de cálcio)

(4) Digestão total

* significância ao nível de 5%

ns não significativo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, N.F. et al. Níveis críticos de cálcio e potássio no solo para o crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis*. Trabalho apresentado no Congresso da SBCS. Salvador. 30 ago à set. 1981.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.; GOMES, J.M. Interpretação de análises químicas no solo para eucalipto. Rev. Árvore, Viçosa, 6 (1) : 38-44, 1982.
- BARROS, N.F., NOVAIS, R.F. & NEVES, J.C.L. Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, 12 (141):15-9, 1986.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F.; CARDOSO, J.R. & MACEDO, P.R. Algumas relações solo-espécie de eucalipto em suas condições naturais. In: BARROS, N.F. de & NOVAIS, R.F. de. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990 a. p.19-20.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. de & NEVES, J.C.L. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F. de & BARROS, R.F. de, eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990b. p.127-186.
- BOCKHEIM, J.G. Forest Soils. In: YOUNG, R.A. Introduction to Forest Science. New York. John Wiley & Sons, 1982. p.93-111.
- BRAIDA, J.A.; CAMARGO, F.A. de O.; ROSSO, I.J.; GIANELLO, C & MEURER, F.J. Comparação de métodos de determinação da disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. R.bras.Ci.Solo. Campinas, 20:345-347, 1996.
- CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N.F. de & NOVAIS, R.F. de. Relação solo-eucalipto. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1990, p. 188-192.
- CAMARGO, O.A. de. Micronutrientes no solo. In: EMBRAPA/IAPAR/SBCS. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. Londrina. 1988. 317p.
- COOK, R.L. Soil Management for Conservation and Production. Michigan, 489-505, 1962.

COSTA, L. M. Manejo de Solos em Áreas Reflorestadas. In: BARROS, N.F. de & NOVAIS, R.F.de. Relação solo-eucalipto. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 1990, p. 237-264.

COSTA NETO, P.L.O. de. Estatística. Ed. Edgard Blücher. São Paul, 1977, p. 181- 86.

COUTO, C.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Resposta do Eucalipto à aplicação de zinco em amostras de solos de Cerrados. Rev.Árvore. 9(2): 134-148, 1985.

COZZO, D. Eucalyptus y Eucaliptotecnia. Libreria El Ateneo Editorial, Buenos Aires, 1955, p. 150-52

De HOOGH, R.I. Site, Nutriotion, Growth Relationships of Araucaria angustifolia (Bert.)O Ktze in southern Brazil. Freiburg, 197 . Tese de doutorado - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1981

ELLIS, R.C. Some factors effecting the differentiation of forest sites in southern Victoria. Australian Forestry, 52 (3) : 152-53, 1989.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.

_____ - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Florestas. Zoneamento Ecológico para plantios florestais no Estado do Paraná. Curitiba: EMBRAPA, 1986, P.31

_____ - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Centro Nacional de Pesquisa de Florestas. Zoneamento Ecológico para plantios florestais no Estado de Santa Catarina. Curitiba: EMBRAPA, 1988. p.30.

FAO. El eucalipto en la repoblacion florestal. Roma. 1981. 723p.

FRANÇA, F.S.; MACEDO, P.R. de O. & PEREIRA, M.C. Arquitetura do Sistema Radicular de *E. saligna* em diferentes condições de sítio e suas interações com as características do solo. 5º Congresso Florestal Brasileiro. Pernambuco/Olinda. Ano XI, nº41. 23 a 28 nov/86. p. 69.

- FERNÁNDEZ, R.A.; CRECHI, E.H. & FRIEDL, R.A. Evaluación del comportamiento de la altura dominante como medida de la calidad de sitio para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze Interciencia. Caracas. 19 (6): 343-346, 1994.
- GILLIAM, .F.S. Ecosystem-level significance of acid forest soils. In: WRIGHT, R.J. et al (Eds.). Plant-Soil interactions at low pH. 1991. p. 187-195
- GOBRAN, R. & CLEGG, S. A conceptual model for nutrient availability in the mineral soil-root system. Canadian Journal of Soil Science. 76 (2): 125-131, 1996.
- GODO, G. & REISENAUER, H.M. Plant effects on soil manganese availability. Soil Sci.Soc.Am.J. 44: 993-995. 1980.
- GOMES, J.M. et al . Métodos de Aplicação de adubo em diferentes solos para a produção de mudas de *E.grandis* W.Hill ex. Maiden. R.Árv., Viçosa, 6(1): 52-63, 1982.
- GÖMÖRYOVÁ, E. & GÖMÖRY, D. Relationships between environmental factors and height growth and yield of Norway spruce stands: a factor-analytic approach. Forestry, Great Britain, 68 (2) : 145-151, 1995.
- GONÇALVES, J.L. de M. Interpretação de Levantamento de Solo para fins silviculturais. IPEF, Piracicaba, 39: 105-111, 1988.
- GONÇALVES, J.L.; DEMATTÊ, J.L.I.; COUTO, H.T.Z.do. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. IPEF, Piracicaba, (43/44): 24-39, 1990.
- GRAÇA, M.E.C. Avaliação do florescimento e do potencial de produção de sementes de *Eucalyptus dunnii* MAID. no Brasil. Boletim de Pesquisa Florestal, Curitiba, (14): 1-12, 1987.
- HUANG, W.Z. & SCHOENAU, W.Z. Forms, amounts and distribution of carbon, nitrogen, phosphorus and sulfur in a boreal aspen forest soil. Canadian Journal of Soil Science. 76(3): 373-385, 1996.
- HILDEBRAND, C.; BRUM, W.E.H.; HILDEBRAND, E.E. & REISSMANN, C.B. Manual de análise química de solos e plantas. Curitiba, Setor de Ciências Agrárias. 1976/1977. 270p.

- HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. Forest Mensuration. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc, New York. 1982. p.336-9.
- KRAMER, P.J. & KOZLOWSKI, T. Fisiologia das árvores. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 1972. p. 36-40.
- LETEY, J. Relationship between Soil Physical Properties and Crop Production. Advances in Soil Science., New York, vol. 1, p.277-93, 1985.
- LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 1973. 248p. "Em convênio com o Governo do Estado de Santa Catarina e SUDESUL".
- LEMOS, R.C. & SANTOS, R.D. Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2. ed. 1984. 46p.
- LIMA, W.P. O reflorestamento com eucalipto e seus impactos ambientais. ARTPRESS, São Paulo, 1987. 114p.
- LISBÃO Jr., L. O efeito da geada e o comportamento inicial de três procedências de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em ensaio conjugado de mini-espacamentos e adubação. Boletim de Pesquisa Florestal. Curitiba, (1): 28-49. 1980.
- LOCATELLI, M.; BARROS, N.F.de; NEVES, J.C.L. & NOVAIS, R.F. de. Efeito de formas de nitrogênio sobre o crescimento e composição mineral de mudas de eucalipto. Rev. Árvore. 8 (1): 53-69. 1984.
- LOPES, A.S. & CARVALHO, J.G. de. Micronutrientes : critérios de diagnose para solo e planta. Correção de deficiências e excessos. In: Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo. EMBRAPA/IAPAR/SBCS. Londrina. 1988. 317 p.
- LUZ, L.R.Q.P.da; SANTOS, M.C.D.; MERMUT, A.R. Pedogênese em uma toposseqüência do semi-árido de Pernambuco. R.bras.Ci.Solo. Campinas, 16: 95-102, 1992.
- MARSCHNER, H. Mineral Nutrition of Higher Plants. Institute of Plant Nutrition. 1986. p. 366-497.
- _____. Mechanisms of adaptation of plant to acid soils. In: WRIGHT, R.J. et al (eds.). Plant-Soil interactions at low pH. 1991. p. 683-702.

- Mc COLL, J.G. Soil-Plant Relationships in a *Eucalyptus* Forest on the South Coast of New South Wales. Ecology, 50(3), p.354-61.1969.
- MELO, V.F.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F.; COSTA, L.M. Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg em plantios de eucalipto no Rio Grande do Sul. IPEF. Piracicaba (48/49): 8-17. 1995 a
- MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. Rev. bras. Ci. Solo. Campinas, 19: 165-171, 1995 b.
- MENGEL, R. & KIRKBY, EA. Principles of plant nutrition. 4 th.Edition.Internacional Potash Institute. 1987. p.66-93.
- MILLER, R.& DONAHUE, R.L. Soils- An Introduction to Soils and Plant Growth. 6.ed. London. 1990. p. 52- 109.
- MUNSELL COLOR COMPANY. Munsell soil color charts. Baltimore, 1946.
- MURAOKA T. & MALAVOLTA, E. Os micronutrientes no solo. USP.Piracicaba. 1985. 24p. (mimeografado).
- NACHTIGALL, G.R. & VAHL, L.C. Formas de potássio em solos da Região Sul do Estado do Rio Grande do Sul. R.bras.Ci.Solo, Campinas, 13: 7-12, 1989.
- NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. Efeitos de alumínio em solução nutritiva no crescimento e absorção de nutrientes de Eucaliptos. Rev.Árvore, Viçosa, 6 (1) : 01-16, 1982.
- NEVES, J.C.L.; GOMES, J.L. & NOVAIS, R.F. de. Fertilização de mudas de eucalipto. In: BARROS,N.F. de & NOVAIS,R.F.de, eds. Relação solo-eucalipto. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1990. p.99-126.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para eucalipto. Rev.Árvore, Viçosa, 6 (1) : 29-37,1982.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. & NEVES, J.C.L. Nutrição do Eucalipto. In: BARROS,N.F. de & NOVAIS, R.F. de, eds. Relação Solo-Eucalipto. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa. 1990 . p. 25-98.

- PAVAN, M.A. et al. Manual de Análise Química do Solo. IAPAR -Instituto Agronômico do Paraná. Londrina. 1991. 33p.
- PRATT, P.P. Potassium. In: BLACK, C.A. ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy. 1965. Part 2. p. 1022-1030.
- PRICHETT, W.L. Properties and Management of Forest Soils. New York. J. Wiley, 1979. 500p.
- RAIJ, B. van. Fósforo: Dinâmica e Disponibilidade no Solo. In: Curso de Atualização em Fertilidade do Solo. p.161- 179. 1987 a.
- _____. Potássio: Dinâmica e Disponibilidade no Solo. In: Curso de Atualização em Fertilidade do Solo. p.183-202. 1987 b.
- REISSMANN, C.B.; ABRÃO, H.R.S. & BRITO, M.A.R. Efeito da leira no crescimento, resistência à geada e níveis foliares de N, P e K em *Eucalyptus dunnii* Maiden. Rev. Setor Ciências Agrárias. 11 (1-2): 121-25, 1989/1991
- RODRIGUES, T.E. & KLAMT, E. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos do Distrito Federal. R.bras.Ci.Solo. 2: 132-139, 1978.
- SALAS, W. Factores edáficos y climáticos en la clasificación de sitios florestales. Bosques de Colombia, p. 15-30, 1974.
- SANTOS FILHO, A. Zinco total em alguns solos do Estado do Paraná. Rev. Setor Ciências Agrárias. Curitiba, 5: 1-3, 1983.
- SANTOS FILHO, A. & ROCHA, H.O. da. Cobre em solos do Estado do Paraná. Rev. Setor Ciências Agrárias. Curitiba, 4: 23-6, 1982.
- _____. Principais características dos solos que influem no crescimento de *Pinus taeda* L. no segundo planalto paranaense. Rev. Setor Ciências Agrárias. Curitiba, 9: 107-111, 1987
- SILVA, H.D., POGGIANI, F. & COELHO, L.C. Eficiência de Utilização de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus*. Boletim de Pesquisa Florestal, Curitiba, (6/7):1-8, 1983.

- SILVA, D.N.; MEURER, E.J.; KÄMPE, N. & BORKERT, C.M. Mineralogia e formas de potássio em dois latossolos do Estado do Paraná e suas relações com a disponibilidade para as plantas. Rev.bras.Ci.Solo. Campinas, 19:433-39, 1995
- SPURR, S.H. Forest Inventory. New York. Ronald Press, 1952. p.299-305.
- SPURR, S.H. & BARNES, B.V. Forest Ecology. 2.ed. J.Wiley.New York. 1973. p. 176-249.
- TARRANT, R.F. Douglas-Fir Site Quality and Soil Fertility. Journal of Forestry. 47(9). p.716-20. 1949.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. & BEATON, J.D. Soil Fertility and fertilizer. Macmilon Publishing Company. New York. Fourth Edition. 1975. p.328-343.
- VALE, F.R., NOVAIS, R.F. & BARROS, N.F. Influência do Alumínio sobre a absorção de nitrogênio e fósforo por mudas de eucalipto.Revista Árvore , Viçosa. 6 (1) :90-94,1982.
- VALADARES, J.M.A.S. & CAMARGO, O.A. de. Manganês em solos do Estado de São Paulo. R.bras.Ci.Solo, Campinas, 7: 123-130, 1983.
- VERDADE, F.C. Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo (I- Potássio, sódio, cálcio e magnésio). Bragantia. Campinas. 19 (35) p. 548-565. 1960 a.
- _____. Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo (II Fósforo e Manganês). Bragantia. Campinas. 19 (35) p. 567-577. 1960 b.
- ZOBEL, B.J. & GERRIT Van W.P.S. Growing Exotic Forests. New York. John Wiley & Sons. Inc, 1987. 508p.