

SILVIA SCHMIDLIN KEIL

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E DESENVOLVIMENTO DA
Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze.

Dissertação submetida à consideração da Comissão Examinadora, como requisito parcial à obtenção do "Título de Mestre em Ciências - M.Sc.", no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração: Ciência do Solo do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

CURITIBA

1989



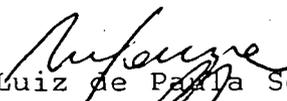
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
"CIÊNCIA DO SOLO"

P A R E C E R

Os Membros da Comissão Examinadora, designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata SILVIA SCHMIDLIN KEIL, com o título "PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO NO DESENVOLVIMENTO DA *Araucaria angustifolia* (Bert.) O.Ktze", para obtenção do grau de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo", do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haver analisado o referido trabalho e arguido a candidata, são de parecer pela **APROVAÇÃO** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de Mestre em Agronomia-Área de Concentração "Ciência do Solo"

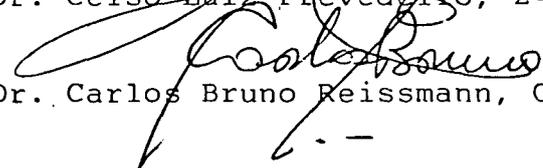
Observação: O critério de avaliação da Dissertação e defesa da mesma é apenas **APROVADA** ou **NÃO APROVADA**.

Secretaria do Curso de Pós-Graduação em Agronomia-Área de Concentração Ciência do Solo, em Curitiba, 21 de março de 1989.


Prof. Dr. Marcos Luiz de Paula Souza, Presidente.


Engº Agrº M.Sc. Rui Carlos Maranhão Biscaia, 1º Examinador


Prof. Dr. Celso Luiz Prevedello, 2º Examinador.


Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann, Coordenador



Aos meus pais,
pelos primeiros passos.

Ao meu esposo Roberto
pelo carinho e apoio.

Ao meus filhos,
pela razão de lutar.

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcos Luiz de Paula Souza, pela orientação durante todo o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Bruno Reissmann pelos dados dendrométricos e colaboração na realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Hélio O. Rocha pelo incentivo e amizade e pela classificação e descrição morfológica dos perfis.

Ao Prof. Dr. Celso Prevedello pelas valiosas sugestões e ao Prof. Dr. Glaucio Roloff o apoio.

À CESBE, pela concessão da área para a coleta do material.

À CAPES e à FINEP pelo respaldo financeiro.

Ao Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Departamento de Solos, pela oportunidade à realização do curso de Mestrado.

Aos Funcionários do Laboratório de Física do Solo pela ajuda prestada nas determinações analíticas.

Aos professores, colegas e funcionários que colaboraram direta ou individualmente na realização deste trabalho.

Aos meus familiares pelo apoio e compreensão.

BIOGRAFIA

SILVIA SCHMIDLIN KEIL, filha de José Lineu Schmidlin e Claudete Aurora Schmidlin. Nasceu em Curitiba, Estado do Paraná, no dia 12 de janeiro de 1960.

Cursou o 1º grau no Colégio Martinus em Curitiba-PR e o 2º grau no Colégio Dom Bosco em Curitiba-PR.

Ingressou na Faculdade de Agronomia, na Universidade Federal do Paraná em 1978 e concluiu o curso em 1982.

No mesmo ano iniciou na referida universidade o Curso de Mestrado em Ciência do Solo, concluindo os requisitos parciais para o grau de M.Sc. em 1987.

S U M Á R I O

	<u>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</u>	viii
	<u>LISTA DE TABELAS</u>	xi
	<u>RESUMO</u>	xv
1	<u>INTRODUÇÃO</u>	01
2	<u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	03
3	<u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	13
3.1	DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA	13
3.2	DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	15
3.2.1	Dados pluviométricos	15
3.2.2	Solos	17
3.2.3	Características dos Povoamentos	18
3.2.3.1	Altura Dominante	18
3.2.3.2	Sítio	19
3.2.3.3	Classe de Sítio	19
3.2.3.4	Curvas de Sítio	19
3.2.3.5	Índice de Sítio	19
3.3	COLETA DE AMOSTRAS	19
3.4	DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS EM LABORATÓRIO	20
3.4.1	Análise Granulométrica	20
3.4.2	Massa específica do solo (ρ_s)	20
3.4.3	Massa específica das partículas (ρ_p)	21
3.4.4	Retenção de água	21

3.4.5	Determinação da umidade (% massa seca)	22
3.4.6	Carbono (%)	22
3.5	VALORES CALCULADOS	23
3.5.1	Porosidade total ($\alpha\%$)	23
3.5.2	Macroporosidade (Ma%)	23
3.5.3	Microporosidade (Mi%)	23
3.6	DETERMINAÇÕES A CAMPO	23
3.6.1	Calibração da sonda de nêutrons	25
3.6.2	Armazenamento de água (W)	29
3.6.3	Porosidade de aeração (α_a)	29
3.6.4	Armazenamento de ar (War)	29
4	<u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	30
4.1	ÍNDICE DE SÍTIO DOS POVOAMENTOS	30
4.2	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DAS UNIDADES DE SOLOS	32
4.2.1	Ca-7 - Cambissolo Tb álico A moderado textura argilosa fase floresta perenifolia relevo sua- ve ondulado substrato tilito	33
4.2.2	Re-5 - Solo Litólico Ta eutrófico A moderado, textura média fase floresta perenifolia rele- vo suave ondulado substrato tilito	38
4.2.3	PVa-5-Podzólico Vermelho Amarelo Tb álico A moderado textura argilosa fase floresta sub- tropical perenifolia relevo ondulado	43
4.2.4	Re-4 - Solo Litólico Ta eutrófico A moderado textura ra argilosa fase floresta subtropical perenifo- lia relevo suave ondulado substrato folhelho..	47

4.3	COMPARAÇÃO ENTRE AS UNIDADES DE SOLOS	52
5	<u>CONCLUSÕES</u>	62
	<u>SUMMARY</u>	63
	<u>ANEXOS</u>	64
	<u>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	76

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA

1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO DO PARANÁ	14
2	PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS NO PERÍODO INVESTIGADO, SEGUN- DO A ESTAÇÃO DE SÃO MATEUS DO SUL (MINISTÉRIO DE MI- NAS E ENERGIA)	16
3	POSIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS SOLOS NA PAISAGEM	17
4	ASPECTO DO TUBO DE ALUMÍNIO QUE DÁ ACESSO A SONDA DE NÊUTRONS	24
5	SONDA DE NÊUTRONS MODELO 503 HYDROPROBE DEPH GANGE CAMPBELL PACIFIC CORPORATION (USA)	25
6	CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO	31
7	DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO(%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE Ca-7	35
8	VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADES E NO TEMPO NA UNIDADE Ca-7	37
9	DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE Re-5	40

FIGURA

10	VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADES E NO TEMPO NA UNIDADE Re-5	41
11	DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE PVa-5	45
12	VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO NA UNIDADE PVa-5	46
13	DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE Re-4	49
14	VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADES E NO TEMPO NA UNIDADE Re-4	50
15	ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (w) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA A UNIDADE DE SOLO Ca-7	55
16	ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (w) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA A UNIDADE DE SOLO Re-5	56
17	ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (w) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA A UNIDADE DE SOLO PVa-5	57
18	ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (w) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA A UNIDADE DE SOLO Re-4	58
19	RELAÇÃO ENTRE A ALTURA MÉDIA DAS ÁRVORES DE CADA POVOAMENTO EM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA ACUMULADO	59

FIGURA

20	RELAÇÃO ENTRE A ALTURA MÉDIA DAS ÁRVORES DE CA- DA POVOAMENTO EM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO DE AR ACUMULADO	60
21	RELAÇÃO ENTRE A ALTURA MÉDIA DAS ÁRVORES DE CA- DA POVOAMENTO COM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA/ARMAZENAMENTO DE AR ACUMULADO	61

LISTA DE TABELAS

TABELA

1	PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL PARA A REGIÃO E A VERIFICADA DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL; SEGUNDO O MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, ESTAÇÃO DE SÃO MATEUS DO SUL	15
2	EQUAÇÕES DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO OBTIDAS PARA A SONDA DE NÊUTRONS POR UNIDADE DE SOLO ESTUDADA E PROFUNDIDADE	28
3	ALTURAS MÉDIAS DA <i>Araucaria angustifolia</i> POR UNIDADE DE SOLO SEGUNDO REISSMANN <i>et alii</i> ⁴¹ E RESPECTIVOS ÍNDICES DE SÍTIO	30
4	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE CAMBISSOLO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO SUBSTRATO TILITO PARA AS PROFUNDIDADES ESTUDADAS (Ca-7)	34
5	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA MÉDIA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO SUBSTRATO TILITO PARA AS PROFUNDIDADES ESTUDADAS (Re-5)	39

TABELA

6	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO ONDULADO PARA AS PROFUNDIDADES ESTUDADAS (PVa-5)	44
7	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUA-VE ONDULADO SUBSTRATO FOLHELHO PARA AS PROFUNDI-DADES ESTUDADAS (Re-4)	48
8	VALORES MÉDIOS ACUMULADOS DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (\bar{W} , mm) E DE AR (\bar{W}_{ar} , mm) E RELAÇÃO \bar{W}/\bar{W}_{ar} , PARA CA-DA UNIDADE INVESTIGADA	53
9	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE CAMBISSOLO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE (Ca-7)	65
10	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA MÉDIA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ON-DULADO SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE (Re-5)....	66
11	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Tb ÁLICO A MODERADO TEX-TURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFO-LIA RELEVO ONDULADO EM PROFUNDIDADE (PVa-5).....	67

TABELA

12	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓ- LICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUA- VE ONDULADO SUBSTRATO FOLHELHO (Re-4)	68
13	CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS UNIDADES DOS SOLOS (EXTRAÍDOS DE ROCHA ⁴²)	69
14	DADOS ANALÍTICOS DAS UNIDADES DE SOLO ESTUDAS EM SÍTIOS DE <i>Araucaria angustifolia</i> (SEGUNDO ROCHA <i>et alii</i> ⁴²)	71
15	VARIAÇÃO DA UMIDADE DA UNIDADE DE SOLO CAMBISSOLO, Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLO- RESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDU- LADO SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO (MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES) Ca-7	72
16	VARIAÇÃO DA UMIDADE DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA MÉDIA FASE FLORES- TA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO, SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO (MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES) Re-5	73
17	VARIAÇÃO DA UMIDADE DA UNIDADE DE SOLO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO ONDULADO SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO (MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES) PVa-5	74

TABELA

18	VARIAÇÃO DA UMIDADE NA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ON- DULADO SUBSTRATO FOLHELHO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO (MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES) Re-4	75
----	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

RESUMO

O trabalho objetivou a determinação da influência das características físicas e armazenamento de água no crescimento da *Araucaria angustifolia*, no 2º Planalto Paranaense, em quatro unidades de solo: dois Litólicos (Re-5, Re-4); um Cambissolo (Ca-7) e um Pozólico Vermelho Amarelo (Pva-5). Os resultados mostraram que o melhor desenvolvimento seguiu a seqüência Pva-5 > Ca-7 > Re-5 > Re-4, devido às condições físicas (porosidade total e aeração), e às condições climáticas e topográficas dos solos estudados. As unidades de solo foram caracterizadas quanto às suas propriedades físicas (granulométrica, densidade do solo e partículas, macro e microporosidade, e retenção de água às energias de -60 cm, -344 cm e -15.495 cm de coluna de água) além de ter sido medido, durante o período de um ano, o armazenamento de água e a porosidade de aeração até a profundidade de 125 cm. Os dados obtidos foram comparados ao crescimento em altura dos povoamentos de *Araucaria* com 15 anos de idade (índice de sítio). Os resultados evidenciaram a importância das propriedades físicas no crescimento da espécie em especial da porosidade de aeração e profundidade, bem como a topografia dos solos.

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento econômico e social do país, a necessidade de produtos florestais tem-se intensificado, levando pesquisadores a buscar maiores informações neste setor.

Segundo ANDRAE & KRAPFEMBAUER¹, a *Araucária* durante décadas foi a espécie florestal economicamente mais importante do Brasil, apresentando madeira para inúmeras finalidades.

DE HOOG & DIETRICH¹¹, mencionam que um dos requisitos básicos para o manejo florestal é a interação correta da essência florestal e o sítio, e que a *Araucaria angustifolia* é exigente em relação às condições de sítio (conjunto de fatores ecológicos que influem no desenvolvimento de povoamentos num determinado local, os quais abrangem fatores climáticos, edáficos e biológicos); a falta de tais conhecimento levou a muitos resultados desapontantes ocasionando fracassos nos investimentos, desestimulando, com isto, os reflorestadores. Para auxiliar nestas avaliações, estes autores construídam curvas de índice de sítio para fornecer os dados básicos a uma classificação de sítio, baseados em análise de tronco, considerando variações em padrões de crescimento na altura em plantios de *Araucaria* no Sul do Brasil.

O presente trabalho teve por objetivo investigar a influência das características físicas do solo em quatro povoa-
mentos de *Araucaria angustifolia* no seu crescimento, além de
associar aspectos de água e ar do solo, avaliando no decorrer
de um ano o armazenamento de água na profundidade do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O pinheiro brasileiro em relação ao conjunto continental ocorre no espaço geográfico compreendido entre os paralelos 21° e 30° de latitude Sul e os meridianos 44° e 54° a Oeste de GW.

Concentra-se formando agrupamentos densos na parte leste e central do planalto sul brasileiro, nos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, ocorrendo como ilhas esparsas também ao Sul do Estado de São Paulo e Serra da Mantiqueira, atravessando para a Província argentina de Misiones (FUPEF¹⁷).

Segundo GOLFARI²⁰ a área de ocorrência natural da *Araucaria*, situa-se em clima temperado onde a temperatura média anual varia de 13° a 18°C , com verões frescos e invernos relativamente frios com mínimas próximas a -8°C , vegetando em solos férteis e profundos (regiões com climas classificados, segundo o sistema de Köppen, como "Cfa" e "Cfb", subtropical úmido sem estações secas e verões moderados e quentes).

O mesmo autor (GOLFARI²¹) justificou como a principal razão para a sua restrição a altitudes superiores a 800 m, o fato de ser intolerante ao deficit hídrico, ocorrendo naturalmente no sul e sudoeste brasileiro, estendendo-se desde a longitude $41^{\circ}31'$ até $54^{\circ}30'W$.

A *Araucaria angustifolia* encontra-se distribuída em diferentes tipos de solos, porém GOLFARI²⁰ menciona serem os Latossolos Roxos com elevada profundidade e fertilidade, os preferidos para esta espécie, sendo que os Latossolos arenosos e solos litólicos são considerados pelo referido autor e VAN GOOR⁴⁹ como impróprios para implantação de povoamentos devido a baixos rendimentos.

Segundo MARLATS³⁰ os rendimentos são variáveis, destacando-se os 21 anos de idade, quando possui 16,70 m³/ha/ano, sendo que o aumento em diâmetro é influenciado pelo fator solo, sendo que o melhor crescimento observado foi em Latossolos Roxos profundos, em povoamentos implantados em Misiones - Argentina.

Estudos realizados por LASSERE *et alii*²⁷ com relação ao crescimento da *Araucaria* em distintos tipos de solos de Puerto Piray, Misiones-Argentina, não aconselham o cultivo da espécie em solos hidromórficos onde o crescimento é lento. Segundo os autores, as raízes não atravessam o horizonte B₂₁, limitando-se desta forma aos 42 cm de solo superficiais.

DIETRICH¹³ em povoamentos de *Araucaria angustifolia* na Floresta Nacional de Três Barras, Santa Catarina, obteve crescimento em altura dominante de 16,80 m em solo Podzólico Vermelho Amarelo, bem drenado. Em solo litólico, a altura foi de 12,35 m, e em Podzólico Vermelho Amarelo, moderadamente drenado atingiu 10,65 m. Estes dados foram medidos através de análise de tronco para a idade de 25 anos.

Estudos realizados por DE HOOGH & DIETRICH¹¹ e DE HOOGH⁹, em reflorestamentos de *Araucaria angustifolia*, no sul do Brasil, mostram serem os Latossolos Roxos, os mais

adequados para a implantação de povoamentos. Concordando com estes autores, CASSOL⁷, em estudo realizado em Passo Fundo, Rio Grande do Sul, comparando o desenvolvimento da *Araucaria* em três solos: Litólico, Gley Pouco Húmico e Latossolo Roxo, verificou que a diferença entre a altura média do povoamento do solo Litólico é aproximadamente 6 metros menor que a do Latossolo Roxo.

CARMEAN⁵⁻⁶, SANDER⁴⁵ e VAN LEAR & HOSNER⁵¹ afirmam que as características físicas do solo apresentam-se mais vantajosas para a previsão da qualidade de sítios do que as químicas. Concordando com OLIVEIRA³³, que menciona ser o estudo físico-hídrico do solo, de fundamental importância na elucidação de questões ligadas à sua fertilidade e produtividade.

MACHADO & SIQUEIRA²⁸, constataram que o crescimento da *Araucaria angustifolia* não pode ser encarado somente em termos de expressões químicas, sendo que, as características físicas e mecânicas do solo devem ser estudadas, já que, a espécie tem acusado melhor índice de crescimento nos solos de estrutura granular, aerados, onde as raízes encontram maior capacidade de penetração.

Ressaltando ainda, a importância das características físicas do solo, NEMETH & DAVEY³² julgam ser este o melhor critério para avaliar o crescimento em altura para povoamento de *Pinus elliottii*, Engelm. e *Pinus taeda*, L. para Carolina do Norte, EUA.

SHETRON⁴⁷ menciona as características morfológicas do perfil do solo a campo e fatores topográficos, para explicar a variação da produtividade das espécies florestais.

Para ANDRAE & KRAPFEMBAUER¹ as condições edáficas favoráveis, principalmente as que se referem ao regime de água, possibilitaram que a *Araucaria* no Rio Grande do Sul pudesse resistir ao avanço da floresta pluvial subtropical. Constataram ainda, a predominância da *Araucaria angustifolia* em solos com textura arenosa, tendo a aeração como fator importante no seu desenvolvimento.

Analisando uma série de trabalhos já publicados, JAMISON²⁵ afirma que os solos de textura fina e média, tem maior capacidade de armazenar água do que os de textura grossa, observação esta, confirmada por SALTER *et alii*⁴³, ao estudar a influência da textura na umidade, onde concluem que, juntamente com a estrutura, tem influência direta na capacidade de água disponível de um solo.

Estudando o solo e características locais para o crescimento do pinheiro bravo (*Pinus taeda* L.) em 80 stands, em Massachusetts (EUA), MADER²⁹ destacou, dentre vários fatores, a importância do aumento no silte e na argila do horizonte A, o que provavelmente contribui para melhor umidade e fertilidade na zona das raízes primárias que, juntamente com as características morfológicas do perfil do solo e fatores topográficos, explicaram a variação da produtividade das diferentes espécies florestais.

VEIHMEYER & HENDRICKSON⁵², ao estudarem a densidade do solo e a penetração de raízes concluíram que certos solos, quando compactados, as densidades relativamente altas, não permitem a penetração de raízes. A densidade do solo acima da qual as raízes não penetram, não é necessariamente a mesma para todos os solos; porém eles normalmente não são encontrados em solos com densidade de 1,9 ou superiores.

Estudando o efeito da densidade sobre a capacidade de água disponível, ARCHER & SMITH² e VISVALINGAM & TAUDY⁵⁴ constataram que o conteúdo volumétrico de água aumenta linearmente com a densidade, sendo que a capacidade de água disponível foi definida como o volume de água retido entre 0,05 bar e 15 bar de tensão. Posteriormente, REEVE *et alii*³⁹, destacando a importância da densidade, mostram que esta afeta grandemente a capacidade de água disponível no solo, capacidade de ar e retenção de água nos solos, sendo que o efeito varia também entre grupos texturais e horizontes. Nos horizontes B e C, a água disponível e a capacidade de retenção do solo diminuiu com o aumento da densidade; entretanto, nos horizontes A a disponibilidade de água e a capacidade de retenção aumentaram com a densidade, exceto nos solos siltosos, em clima temperado.

FREIRE & SCARDUA¹⁶ estudando as curvas características de retenção de água de um Latossolo Roxo distrófico do município de Lavras, Minas Gerais, mencionam que a maior retenção de água, ocorreu nos horizontes superficiais por apresentarem maiores teores de matéria orgânica.

Estudando os efeitos de uma floresta pura de *Pinus elliottii*, com doze anos, em relação ao campo nativo, sobre a retenção de água no solo, na região da Lapa-PR, PAULA SOUZA *et alii*³⁷ concluíram que os solos reflorestados possuíam uma maior capacidade de água disponível e que isto é devido não ao teor, mas ao tipo de matéria orgânica adicionada.

A camada orgânica que forma o "assoalho" das florestas é de particular importância, uma vez que contém quantidades consideráveis dos nutrientes das plantas e influencia no

conteúdo de água e condições físicas dos solos minerais (OVINGTON³⁴). O mesmo autor, posteriormente, constatou que a porcentagem do conteúdo de água de solos minerais sobre terras de florestas, particularmente de madeiras duras, é maior do que onde não há árvores.

VAN GOOR⁴⁹⁻⁵⁰, GOLFARI²⁰, BLUM⁴, DE HOOGH e DIETRICH¹⁰⁻¹¹ e DE HOOGH⁹, são unânimes em afirmar que a *Araucaria angustifolia* é muito exigente em relação a profundidade do solo. VAN GOOR⁴⁹⁻⁵⁰, considerou que um mínimo de 70 a 100 cm é necessário para um bom crescimento, para o Estado de São Paulo. BLUM⁴, ao estudar a ecologia da *Araucaria* no sul do Brasil, menciona que solos com menos de 1,0 m de profundidade não são adequados para o reflorestamento desta espécie.

LASSERE *et alii*²⁷ estudando o crescimento da *Araucaria angustifolia* em diferentes solos em Piray-Misiones, Argentina, relatam que o crescimento está associado à profundidade do solo, que entre outros fatores, ocasionam diferença de produtividade. Isto foi confirmado por DE HOOGH e DIETRICH¹⁰⁻¹¹, que obtiveram correlação positiva entre o crescimento e a profundidade do solo, bem como a espessura do horizonte A, no Estado do Paraná. DE HOOGH⁹, obteve correlação positiva entre a profundidade total do solo e a altura de crescimento, para solos com horizonte A de aproximadamente 50 cm.

A falta de profundidade do solo influi indiretamente como obstáculo ao incremento da *Araucaria angustifolia* através de uma deficiência no abastecimento de água (ANDRAE & KRAPFEMBAUER¹).

Segundo SPEVER & BARNES⁴⁸, o ciclo de água constitui uma parte do ecossistema florestal, no ciclo de nutrientes.

A água é um fator limitante na distribuição das florestas em clima temperado. O deficit de umidade no meio da estação de crescimento, afeta diretamente o crescimento durante a estação corrente e subsequente, afetando igualmente o crescimento radial das árvores.

Estudando alguns aspectos hídricos em três tipos de cobertura vegetal: uma plantação de *Eucalyptus saligna*, Smith; *Pinus caribaea*, Morelet var. *caribaea*, e uma parcela contendo vegetação herbácea natural, no campus da ESALQ, Piracicaba-SP, PAULA LIMA³⁶, observou incrementos crescentes de DAP (diâmetro à altura do peito), coincidentes com os períodos de recarga de água do solo (primavera) e incrementos decrescentes, durante o período de depleção da água do solo (verão e outono). De modo geral, ocorreu diminuição mas não cessação do crescimento durante o período seco do ano.

MOEHRING & RALSTON³¹, ao estudarem o crescimento em diâmetro do *Pinus taeda* L., em planícies costeiras, no nordeste da Luisiana (EUA), afirmaram que a umidade insuficiente é, provavelmente, o fator mais importante de limitação do crescimento em diâmetro dos pinhos no sul.

A quantidade de água retida pelo solo depende principalmente da quantidade e natureza da fração argila e do seu teor de matéria orgânica (JAMISON²⁵), enquanto que, para SHARMA & UEHARA⁴⁶, a retenção e o fluxo de água dependem em grande parte do tamanho e distribuição dos poros; e em relação ao movimento da água, na maioria dos solos agricultáveis, a estrutura e sua estabilidade são mais importantes do que os componentes texturais e sua interação individual com a água.

Também PRIMAVESI³³, ao estudar a influência da estrutura do solo no regime hídrico, comparando solos de textura idêntica mas com diferentes estruturas, em diferentes épocas, constatou que o solo compactado apresentou uma forte retenção de água e lenta infiltração.

A variação do conteúdo de água em unidade de massa ou volume de solo, e o estudo de energia de água no solo são fatores importantes que afetam o crescimento das plantas (HILLEL²⁴). Para a maioria dos solos a tensão aproximada da capacidade de campo varia entre 0,2 e 0,5 atm, dependendo da textura do solo, compactação, estratificação e outros fatores.

Como a retenção de água no solo a baixas tensões (0-1 bar), depende primariamente do efeito da capilaridade e da distribuição do tamanho dos poros, influenciada pela estrutura do solo (GARDNER¹⁹), são preferíveis, para estas determinações, o uso de amostras não deformadas. Por outro lado, a retenção de água em alta sucção é devido, principalmente, à adsorção, e mais correlacionada com a superfície específica do material do solo do que com a estrutura (HILLEL²³).

SALTER & WILLIAMS⁴⁴ ao afirmarem que a umidade do solo pode ser consideravelmente influenciada pela sua estrutura, recomendam que a curva de umidade característica do solo seja determinada em amostras de solos deformadas.

DE HOOGH⁹ afirma que a estrutura quando é de moderada a forte, granular ou blocos subangulares, indicam boas possibilidades para o crescimento de *Araucaria angustifolia*, porém, blocos angulares e estrutura prismática estão associados a condições restritas para o mesmo.

De acordo com BAVER *et alii*³, a água e o ar ocupam a parte não sólida, a porosidade do solo; desta forma, todos os poros poderão ser preenchidos com água líquida até a saturação, embora o termo água inclui substâncias dissolvidas, como sais solúveis e gases que são levemente solúveis em água. A retenção de água no solo é função da distribuição e forma de poros, que por sua vez, depende de outros fatores, tais como: textura, agregação, densidade do solo, teor de matéria orgânica. Os mesmos autores, afirmam que valores inferiores a 10% de porosidade de aeração restringem a aeração do solo, com conseqüente deficiência de oxigênio para as raízes.

WILDE *et alii*⁵⁵ em análise de solo e planta para culturas arbóreas, observaram que muitas coníferas diminuíram em crescimento quando a aeração do solo foi inferior a 4%.

ANDRAE & KRAPFEMBAUER¹ e BLUM⁴, estudando as raízes em diferentes sítios e solos, afirmam que a *Araucaria angustifolia* possui um sistema radicular relativamente plano que reage sensivelmente a lençóis freáticos ou água estagnada.

BLUM⁴ constatou que a porosidade deficiente é prejudicial a *Araucaria angustifolia* e posteriormente, DE HOOGH & DIETRICH¹¹, lançaram a hipótese de que o lento crescimento desta espécie poderia ser atribuída a porosidade, permeabilidade e capacidade de retenção de água do solo, sendo que GOLFARI²⁰, GOLFARI & BARRET²², VAN GOOR⁵⁰, BLUM⁴, DE HOOGH & DIETRICH¹⁰ e DE HOOGH⁹, referem-se à estrutura do solo como uma característica influente no crescimento da *Araucaria*.

De acordo com JORGE²⁶, não havendo falta de oxigênio, as plantas crescem numa razão direta com a umidade do solo.

A quantidade máxima de água que pode ser retida no solo, está obviamente limitada pelo total de espaço poroso, sendo que as plantas não conseguem absorver a água de solos sob potenciais menores que -15 atm (15495 cm de coluna de água) (GARDNER¹⁹). Sendo assim, REICHARDT⁴⁰ menciona que o solo se encontra na capacidade de campo, quando armazena a máxima quantidade de água que estaria disponível às plantas; no passado, era definido como a umidade do solo sob um potencial de $-1/3 \text{ atm}$ (344 cm de coluna de água), hoje, sabe-se que pode variar de situação para situação, não sendo uma característica constante.

Na maioria dos estudos, a água entre tensões de 344 cm de H_2O a 15495 cm de coluna de água, tem sido levada a representar a capacidade de água disponível de um solo (SALTER *et alii*⁴³). Enquanto que, SALTER & WILLIAMS⁴⁴, usando tensões de $0,33 \text{ atm}$ (344 cm de coluna de água) e 15 atm para determinar o limite superior e inferior de capacidade de água disponível, observaram que os valores foram menores do que os obtidos pelos métodos de amostragem direta, e que freqüentemente uma quantia apreciável de água é retida entre tensões de $0,33 \text{ atm}$ e $0,05 \text{ atm}$.

O conteúdo de água a 344 cm de coluna de água, como estimativa da capacidade de campo, em solos de textura grosseira, deve ser debatido, visto que, tensões de $1/10 \text{ atm}$ podem ser mais apropriadas. Nenhum solo que drene a $0,33 \text{ atm}$ entre 24 e 48 horas, pode ser considerado com drenagem pobre. A diferença entre o conteúdo de água a $0,33 \text{ atm}$ e a 15 atm nem sempre dá uma boa estimativa da disponibilidade de água de um solo (GARDNER¹⁸).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

A área localiza-se no 2º Planalto Paranaense, município da Lapa, à margem direita da rodovia Curitiba-São Mateus do Sul, km 106 (25°48' de latitude Sul e 50°05' de longitude Oeste de Greenwich), entre as altitudes de 740 e 800 m. Geologicamente, está constituída por materiais de idade Carbonífera onde ocorrem predominantemente tilitos e folhelhos.

O relevo é ondulado e encontra-se bastante dissecado, com ocorrência de superfície de erosão residuais e vertentes íngremes.

O clima, segundo Köppen, é do tipo Cfb, mesotérmico úmido sem estação seca e com precipitação média anual de 1.300 mm.

A vegetação primária regional era constituída de Floresta Subtropical Perenifolia (cujas folhas não caem antes das novas estarem já desenvolvidas) e atualmente predominam reflorestamento de *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda*.

A pesquisa foi desenvolvida em povoamento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., na fazenda Novo Horizonte, pertencente à CESBE S/A -Engenharia e Empreendimentos, implantado em 1969.

FIGURA 1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA NO ESTADO DO PARANÁ



■ Área experimental

3.2 DESCRIÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

3.2.1 Dados pluviométricos

A Tabela 1 apresenta os dados de precipitação média mensal para a região e a verificada durante o período experimental, segundo o Ministério de Minas e Energia, Estação de São Mateus do Sul, e a Figura 2 as precipitações diárias no período investigado.

TABELA 1. PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL PARA A REGIÃO E A VERIFICADA DURANTE O PERÍODO EXPERIMENTAL; SEGUNDO O MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, ESTAÇÃO DE SÃO MATEUS DO SUL

Meses	Média da região (mm) 1938-1981	Período experimental 1985-1986
Agosto	90,3	4,1
Setembro	122,1	120,5
Outubro	141,5	107,2
Novembro	107,2	79,0
Dezembro	134,4	63,2
Janeiro	164,2	157,8
Fevereiro	129,0	133,2
Março	122,3	67,8
Abril	82,7	177,0
Maiο	94,5	12,6
Junho	103,1	12,6
Julho	87,0	23,8
Agosto	90,3	104,4

Por se tratarem de dados regionais e não locais, estes nos fornecem uma idéia aproximada do índice pluviométrico no local investigado.

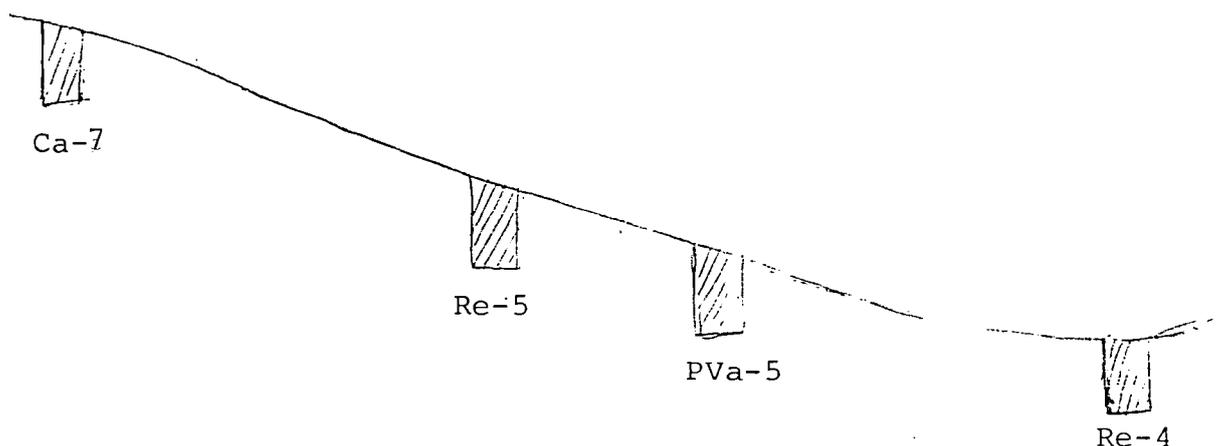
3.2.2 Solos

A seleção das unidades de solos sob o povoamento, foi feita considerando-se a toposequência da área e o material de origem (tilitos e folhelhos), com o auxílio de mapa planialtimétrico na escala 1:10.000 e curvas de nível com equidistância vertical de 10 m.

As áreas de amostragem serviram para o desenvolvimento de outros trabalhos que contemplam aspectos relacionados à gênese e fertilidade dos solos, efetuados por ROCHA *et alii*⁴² e REISSMAN *et alii*⁴¹, respectivamente.

As informações iniciais foram obtidas com o auxílio de traço e observações sobre a vegetação e relevo, para posterior definição das áreas de amostragem, onde procedeu-se a abertura de trincheiras (Figura 3) estabelecendo-se uma área experimental de 20 x 30 cm (600 m²) para cada sítio.

FIGURA 3. POSIÇÃO ESQUEMÁTICA DOS SOLOS NA PAISAGEM



As descrições morfológicas foram feitas segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (1984), por ROCHA *et alii*⁴² e os dados analíticos dos perfis encontram-se nas Tabelas 13 e 14 (Anexo).

As unidades de solo selecionadas foram as seguintes:

Ca-7 - Cambissolo Tb Álico A Moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo suave ondulado substrato tilito.

Re-5 - Solo Litólico Ta Eutrófico A Moderado textura média fase floresta subtropical perenifolia relevo suave ondulado substrato tilito.

PVa-5- Podzólico Vermelho Amarelo Tb Álico A Moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo ondulado.

Re-4 - Solo Litólico Ta Eutrófico A Moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo suave ondulado substrato folhelho.

3.2.3 Características dos Povoamentos

Extraídas de DE HOOGH *et alii*¹² e Encontro Nacional de Pesquisadores para a Padronização da Terminologia Florestal¹⁵.

A importância de tais conhecimentos consiste na interação correta da essência florestal e o sítio, acarretando um melhor rendimento.

3.2.3.1 Altura Dominante - Entende-se por altura dominante, como a média aritmética das 20% mais altas árvores medidas na parcela (DE HOOGH *et alii*¹²).

3.2.3.2 Sítio - Entende-se por sítio o conjunto dos fatores ambientais vigentes numa área que determina o tipo e a qualidade de vegetação na mesma (Encontro Nacional de Pesquisadores para a Padronização da Terminologia Florestal¹⁵).

3.2.3.3 Classe de Sítio - Segundo o Encontro Nacional de Pesquisadores para a Padronização da Terminologia Florestal¹⁵, é a unidade de classificação de sítio baseada em normas quantitativas, como altura, volume, etc.

3.2.3.4 Curvas de Sítio - Cada uma das curvas retrata o desenvolvimento esperado de altura dominante em um certo sítio cuja qualidade é definida na expressão "Índice de Sítio".

3.2.3.5 Índice de Sítio - É a expressão de qualidade deste sítio em termos de altura dominante esperada ou real em uma idade pré-estabelecida ou idade chave (DE HOOGH *et alii*¹²).

3.3 COLETA DE AMOSTRAS

Em cada povoamento foi aberta uma trincheira, e de acordo com a morfologia dos solos, coletaram-se amostras dos vários horizontes para determinação de suas características físicas e químicas, sendo utilizadas duas repetições em cada profundidade.

Foram coletadas amostras não deformadas para determinação da massa específica do solo e curva característica de umidade do solo em cilindros, e amostras deformadas para análises químicas, massa específica das partículas e análise granulométrica.

As amostras deformadas obtidas no campo foram secas previamente em estufa a $40-60^{\circ}\text{C}$, destorroadas e passadas através de peneira de malha de 2 mm de diâmetro, sendo determinado ainda, o esqueleto do solo.

3.4 DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS EM LABORATÓRIO

Com a finalidade de caracterizar as unidades de solo, foram efetuadas as seguintes determinações (EMBRAPA¹⁴):

3.4.1 Análise Granulométrica

Determinada pelo método de VETTORI⁵³, utilizando-se como dispersante o hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N.

3.4.2 Massa específica do solo (ρ_s)

As amostras do solo, não deformadas, foram coletadas em várias profundidades, de acordo com os perfis, por meio de anéis volumétricos com 5,5 cm de diâmetro e 3,0 e 6,0 cm de altura.

O material recolhido pelo anel foi transportado para o laboratório, para a determinação da massa seca em estufa após 48 h (peso constante) e calculado por:

$$\rho_s \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{massa amostra seca } 105^{\circ}\text{C}}{\text{volume do anel}}$$

Para as amostras onde não havia condições de acesso para os anéis (nas camadas mais profundas dos solos Litólicos, próximo ao material de origem), as amostras foram coletadas com martelo pedológico, acondicionadas em sacos plásticos

e levados ao laboratório onde foram analisadas pelo método da parafina, segundo EMBRAPA¹⁴.

3.4.3 Massa específica das partículas (ρ_p)

Foi determinada pelo método do balão volumétrico, utilizando-se 20 g de terra fina seca à estufa à 105°C, que foi transferida para um balão volumétrico aferido, de 50 ml, adicionando-se álcool etílico até completá-lo. Para o cálculo foi utilizado a equação:

$$\rho_p = \frac{\text{massa da amostra seca } 105^\circ\text{C}}{(50 - \text{volume de álcool gasto})} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

3.4.4 Retenção de água

Para a determinação das curvas de retenção de água no solo, foram utilizados amostras deformadas e não deformadas (coletadas com anel). Os anéis, com as amostras obtidas no campo, foram pesados e colocados para saturar, obtendo-se a umidade de saturação, sendo colocadas posteriormente na câmara de pressão de Richards à 60 cm, 344 cm e 15.495 cm de coluna de água, sendo que para a pressão de 15.495 cm foram utilizados anéis de borracha e amostras de terra fina.

Após cessar a saída de água, a cada pressão, as massas úmidas das amostras foram determinadas e finalmente levadas à estufa à 105°C até massa constante.

As umidades volumétricas foram então determinadas pela equação:

$$\theta\% = \frac{m_u - m_s}{m_s} \times 100 \times \frac{\rho_s}{\rho_{ag}}$$

$\theta\%$ = umidade volumétrica;

μ = massa úmida;

m_s = massa seca 105°C;

ρ_s = massa específica do solo g/cm³;

ρ_{ag} = massa específica da água g/cm³.

3.4.5 Determinação da umidade (% massa seca)

A coleta de amostras foi feita nas profundidades de 20, 50, 80 e 110 cm de profundidade, conforme a profundidade do perfil, observando-se as profundidades de leitura da sonda de nêutrons.

As amostras foram coletadas com trado, acondicionadas em latas de alumínio, hermeticamente fechadas e devidamente identificadas. No laboratório obteve-se a massa úmida, então levadas para secar em estufa à 105°C, até massa constante, para determinação da umidade. Os resultados foram expressos em % de massa seca em estufa.

$$\%U = \frac{100(\mu - m_s)}{m_s}$$

3.4.6 Carbono (%)

Determinado segundo VETTORI⁵³ por via úmida através da oxidação do carbono pelo sulfato ferroso amoniacal.

A matéria orgânica (%) foi obtida multiplicando-se o teor de carbono pelo fator 1,724.

3.5 VALORES CALCULADOS

3.5.1 Porosidade total ($\alpha\%$)

$$\alpha\% = \frac{100 (\rho_p - \rho_s)}{\rho_p}$$

3.5.2 Macroporosidade (Ma%)

$$\text{Ma}\% = \alpha\% - \text{Mi}\%$$

3.5.3 Microporosidade (Mi%)

$$\text{Mi}\% = \theta_{60} \cdot 100$$

onde:

$$\theta_{60} = \text{umidade (cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}) \text{ a tensão de } 60 \text{ cm H}_2\text{O}.$$

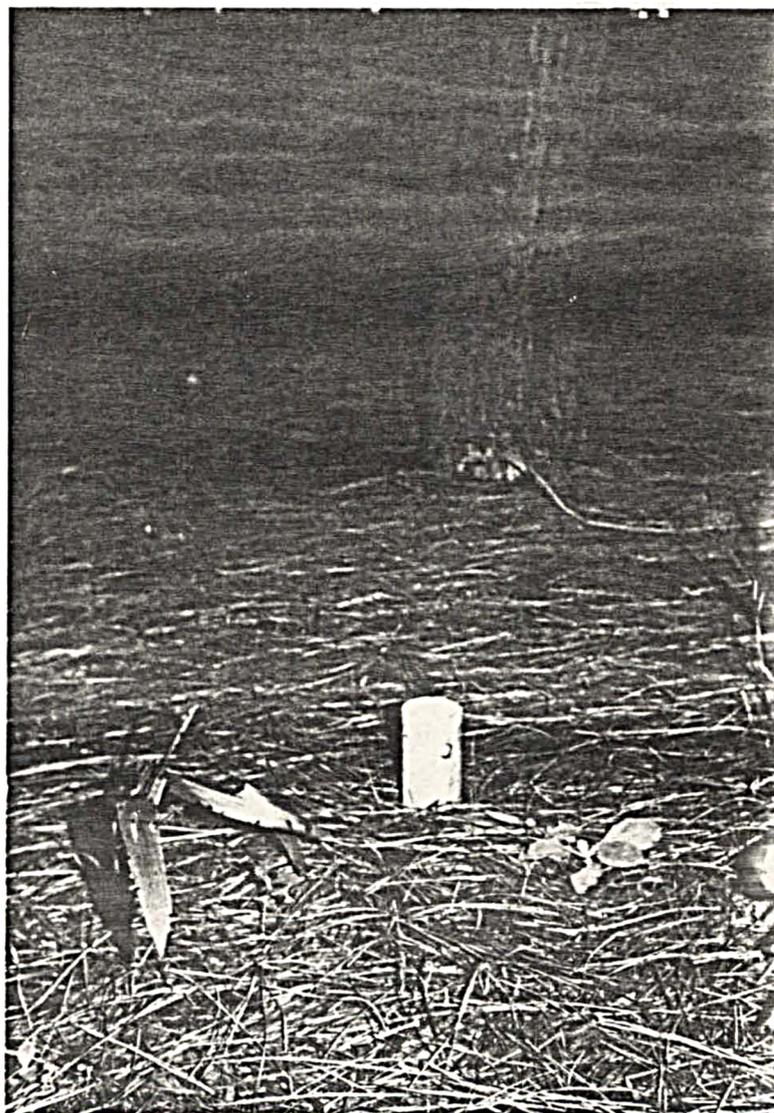
Utilizou-se a câmara de pressão de Richards, com tensão de 60 cm de coluna de água.

3.6 DETERMINAÇÕES A CAMPO

A medição da água do solo, foi realizada através do método de moderação de nêutrons.

Foram introduzidos no solo verticalmente três tubos de alumínio (Figura 4), com comprimento variando conforme a profundidade do perfil, em cada povoamento estudado, que serviram para o acesso da sonda de nêutrons. As leituras foram feitas, em cada tubo, a partir dos 20 cm de profundidade, repetindo-se a intervalos de 30 cm até a profundidade de 1,10 m. Durante o período experimental, as medições foram realizadas em intervalos de aproximadamente 15 dias.

FIGURA 4. ASPECTO DO TUBO DE ALUMÍNIO QUE DÁ ACESSO A SONDA DE NÊUTRONS

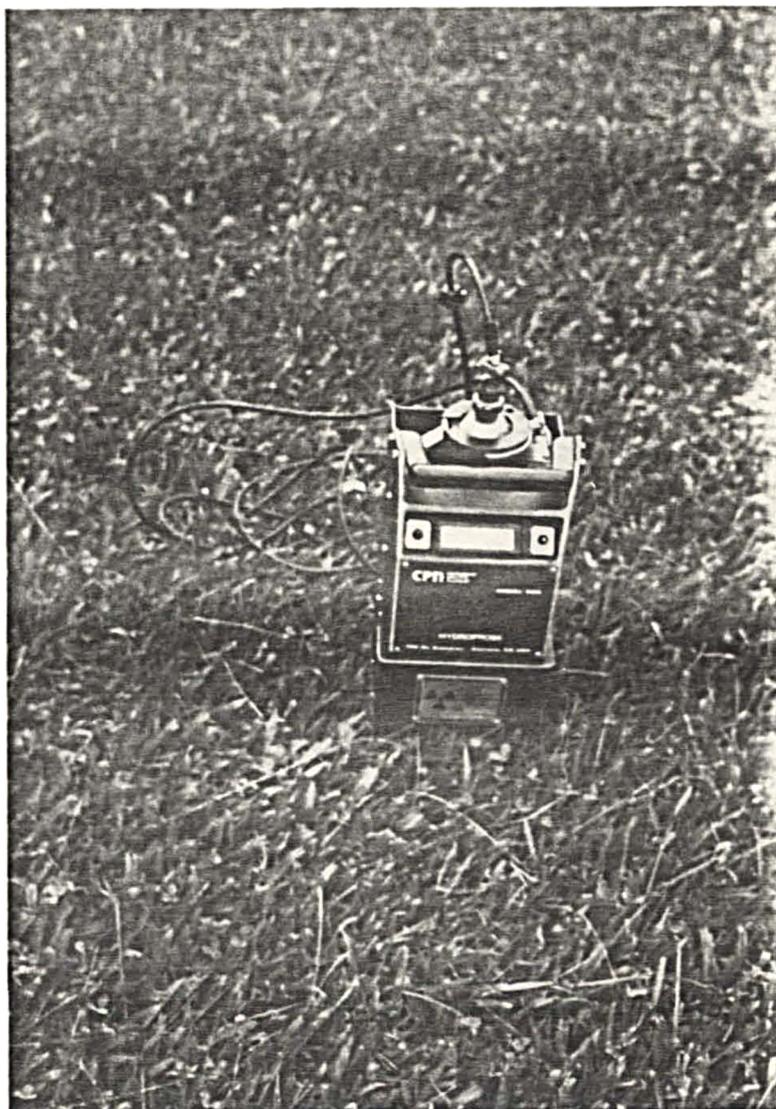


3.6.1 Calibração da sonda de nêutrons

A sonda utilizada foi a de modelo 503 Hydroprobe deph gange, fabricada pela Campbell Pacific Corporation (USA) (Figura 5).

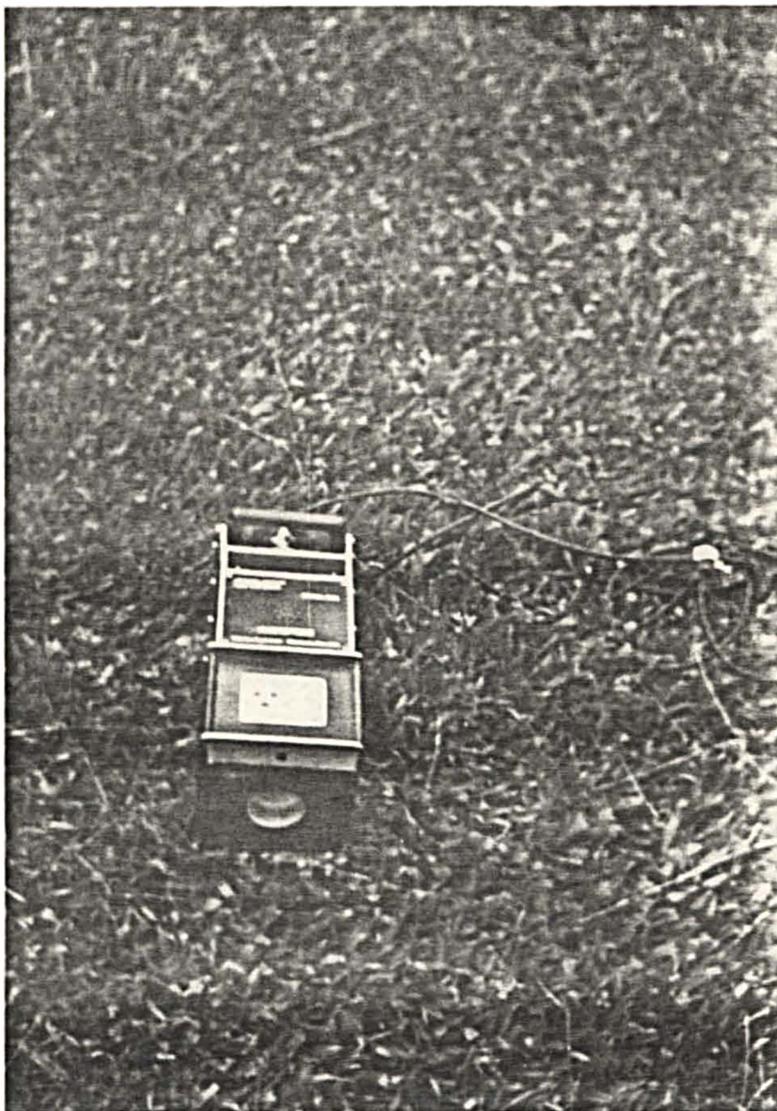
FIGURA 5. SONDA DE NÊUTRONS MODELO 503 HYDROPROBE DEPH GANGE. CAMPBELL PACIFIC CORPORATION (USA)

A) SONDA EM PÉ; B) SONDA DEITADA



Sonda em pé

A



Sonda deitada

B

A calibração em cada profundidade de cada povoamento foi feita através da correlação entre a porcentagem de umidade obtida volumetricamente com os valores da razão (R) entre a contagem por minuto em cada profundidade (L) com a contagem por minuto padrão (P).

Para o cálculo do R (razão) utilizou-se a equação:

$$R = \frac{L}{P}$$

onde:

L = leitura da sonda nas profundidades (cpm);

P = leitura padrão (cpm);

R = razão.

Para a leitura padrão foi utilizada a média das contagens com a sonda dentro do corpo de blindagem antes e depois daquelas consideradas dentro do tubo de acesso no solo.

Para obter-se a equação de calibração da sonda, para cada profundidade, fez-se a média de quatro umidades obtidas a campo durante períodos de diferentes índices pluviométricos, por tubo, e do seu valor de R correspondente.

A equação de calibração da sonda é:

$$\theta = a + 0,1844 R$$

O valor de a utilizado nas equações obtidas, é a média do valor de a dos três tubos utilizados no perfil; o valor 0,1844 da equação acima é fornecido pelo fabricante.

As equações das curvas de calibração obtidas para a sonda de nêutrons, por profundidade estudada, relacionando a razão (leitura no solo/leitura padrão em contagem de 30 segundos) com os teores de umidade do solo ($\theta = \text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$), encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2. EQUAÇÕES DAS CURVAS DE CALIBRAÇÃO OBTIDAS PARA A SONDA DE NÊUTRONS POR UNIDADE DE SOLO ESTUDADA E PROFUNDIDADE

Profundidade (m)	Ca-7	Re-5	PVa-5	Re-4
0,20	$\theta = 0,11335 + 0,1844 R$	$\theta = 0,12299 + 0,1844 R$	$\theta = 0,08954 + 0,1844 R$	$\theta = 0,15038 + 0,1844 R$
0,50	$\theta = 0,11100 + 0,1844 R$	$\theta = 0,12975 + 0,1844 R$	$\theta = 0,12370 + 0,1844 R$	$\theta = 0,16305 + 0,1844 R$
0,80	$\theta = 0,0948 + 0,1844 R$	$\theta = 0,16880 + 0,1844 R$	$\theta = 0,11259 + 0,1844 R$	
1,10	$\theta = 0,14605 + 0,1844 R$		$\theta = 0,13834 + 0,1844 R$	

3.6.2 Armazenamento de água (W)

Obtido pela equação:

$$W = 10 \sum_{i=1}^n \theta_i \Delta z_i$$

onde:

W = armazenamento (mm);

Δz_i = espessura da camada i (cm);

θ_i = umidade ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$)

3.6.3 Porosidade de aeração (α_a)

Foi obtida em função do tempo pela diferença entre a porosidade total e a umidade volumétrica atual

$$\alpha_a = \alpha\% - \theta\%$$

3.6.4 Armazenamento de ar (War)

Obtido pela equação:

$$War = 10 \sum_{i=1}^n (\alpha - \theta)_i \Delta z_i$$

onde:

War = armazenamento de ar (mm);

α = porosidade total $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$;

θ = umidade ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

Δz_i = espessura da camada i (cm).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ÍNDICE DE SÍTIO DOS POVOAMENTOS

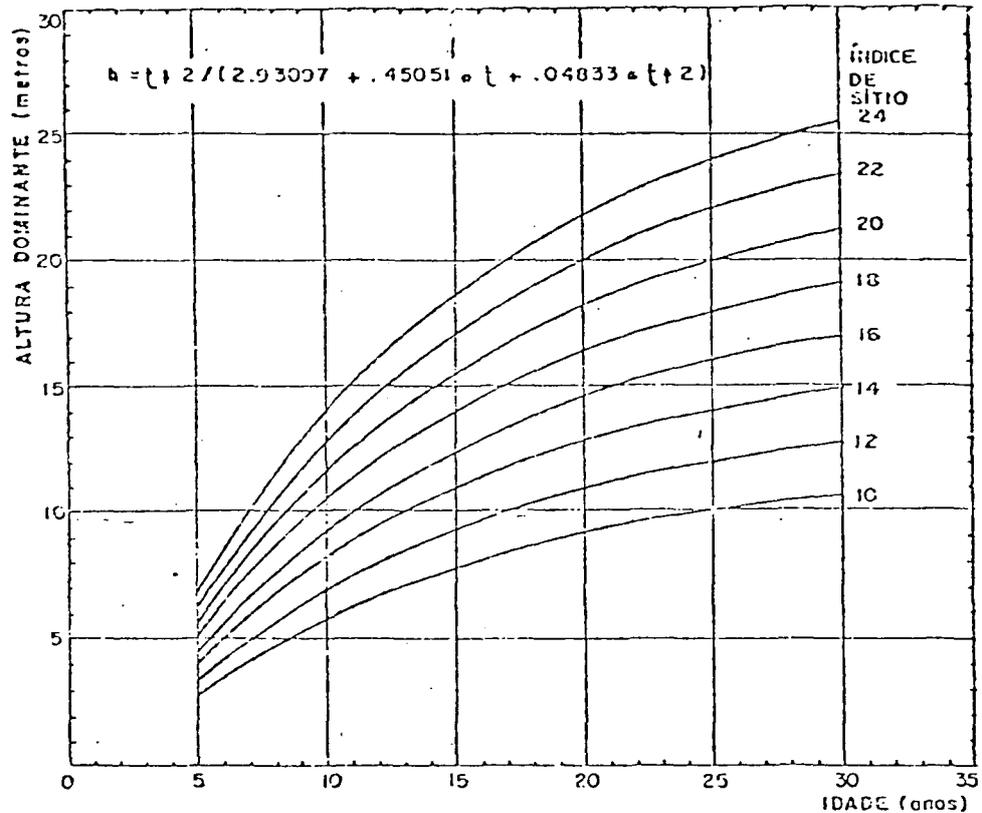
Utilizando-se as curvas de índice de sítio elaboradas por DE HOOGH⁹ apresentadas na Figura 6 obteve-se o índice de sítio dos povoamentos estudados, mostrados na Tabela 3, com as alturas correspondentes corrigidas para a idade de 15 anos.

TABELA 3. ALTURAS MÉDIAS DA *Araucaria angustifolia* POR UNIDADE DE SOLO SEGUNDO REISSMANN *et alii*⁴¹ E RESPECTIVOS ÍNDICES DE SÍTIO

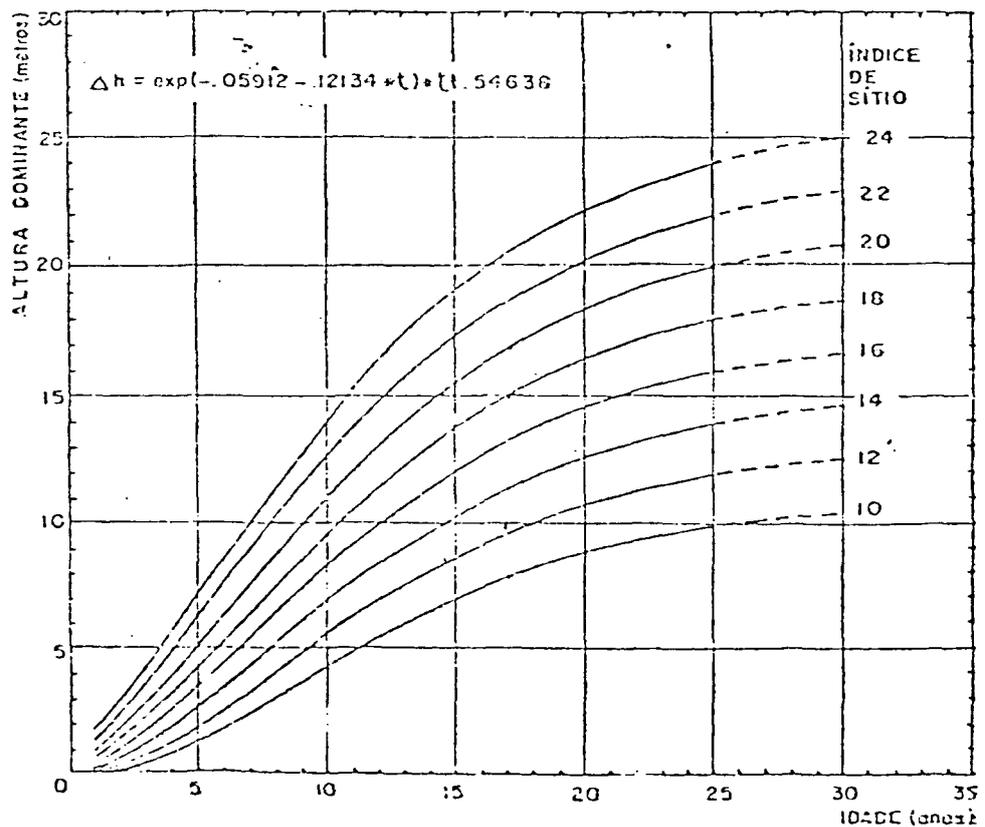
Unidade de solo	Altura (m)	Índice de sítio
Ca-7	11,70	14 - 18
Re-5	8,90	10 - 14
PVa-5	13,00	14 - 18
Re-4	8,50	10 - 14

A unidade Ca-7 tem índice de sítio 14 a 18, sendo que seu desenvolvimento de 11,70 m aos 15 anos de idade está dentro do esperado conforme DE HOOGH⁹ onde obteve para tal idade 10,37 m pertencendo a classe de qualidade de sítio de médio a bom, segundo VAN GOOR⁴⁹.

FIGURA 6. CURVAS DE ÍNDICE DE SÍTIO



Curvas de Índice de Sítio monomórficas para *Araucaria angustifolia*, baseadas em dados de altura/idade de 238 parcelas temporárias, em povoamentos plantados do Sul do Brasil (conj. 1).



Curvas de Índice de Sítio polimórficas para *Araucaria angustifolia*, baseadas na análise de troncos de 52 árvores de 26 parcelas, em povoamentos plantados no Sul do Brasil (conj. 2).

Para a unidade Re-5 que teve 8,90 m de altura dominante e índice de sítio 10 a 14, esperaria-se um desenvolvimento de 8,68 m sendo classificada como pobre, segundo DE HOOGH⁹.

O maior índice de sítio foi obtido na unidade PVA-5, de 14 a 18, para altura dominante de 13,00 m, onde segundo DE HOOGH⁹, a altura esperada estaria entre 12,07 e 13,79, classificado de médio a bom.

A unidade Re-4 cuja altura obtida foi de 8,50 m e índice de sítio 10 a 14, classifica-se como pobre.

As unidades que obtiveram melhor índice foram; a PVA-5 e Ca-7. O mesmo autor menciona que para uma prognose exata de uma futura produção volumétrica em plantio de *Araucaria*, são necessárias curvas de índice regionais, ou até mesmo locais.

4.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E ARMAZENAMENTO DA ÁGUA DAS UNIDADES DE SOLOS

Os resultados das análises físicas do solo, foram avaliadas até a profundidade de 1,20 m (conforme a profundidade do perfil estudado), por camada de solo amostrada e constam nas Tabelas 9, 10, 11 e 12 nos Anexos. Estes resultados foram posteriormente trabalhados, e deles originaram os valores médios que representam as camadas, nas quais foram determinados os dados de variação de umidade no tempo. As espessuras consideradas foram de 0-35 cm, 35-65 cm, 65-95 cm e 19-125 cm. Para os solos mais rasos, a profundidade máxima foi o limite com a rocha subjacente. Com este procedimento foi possível compatibilizar as profundidades de leitura de umidade com a sonda e

as características físicas médias que representam estas camadas de solo e que compõe as Tabelas 4, 5, 6 e 7.

As Figuras 7, 9, 11 e 13 subdivididas em A e B, destacam respectivamente a distribuição dos poros (A) e a distribuição das frações (B) dos solos em profundidade.

As Figuras 8, 10, 12 e 14 permitem avaliar a distribuição da umidade do solo em profundidade e no tempo. Para facilitar suas interpretações, foram indicadas, por camada as umidades correspondentes as energias de -60, -344 e -15495 cm de água e a porosidade total, representada por α . Estas mesmas figuras permitem ainda avaliar no tempo e por camada, a porosidade de aeração (α_a) e o armazenamento de água.

4.2.1 Ca-7 - Cambissolo Tb álico A moderado textura argilosa fase floresta perenifolia relevo suave ondulado substrato tilito

Suas principais características físicas, valores médios, são apresentados na Tabela 4, os quais mantêm uma relação lógica entre si, evidenciando os efeitos da matéria orgânica e da argila na retenção de água e nos valores das massas específicas.

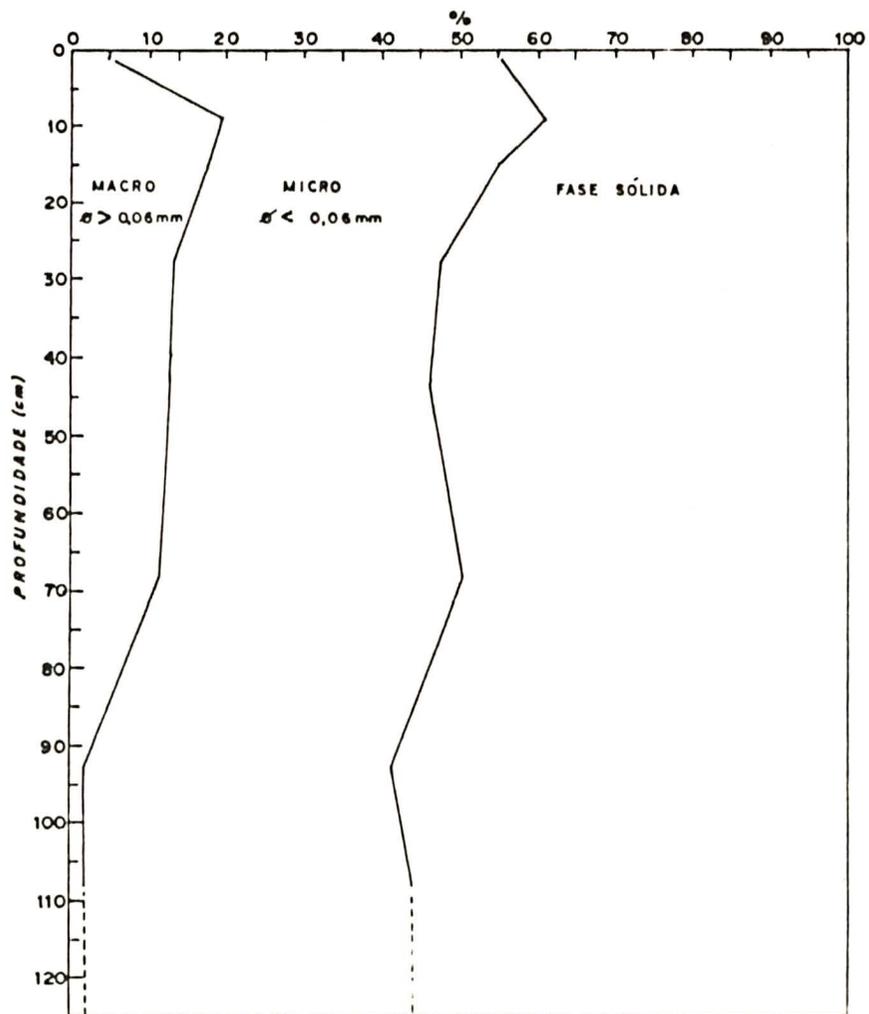
É evidente a ocorrência de uma descontinuidade litológica na análise granulométrica em torno de 40 a 45 cm de profundidade, levando a uma baixa capacidade de retenção de água. Tal descontinuidade pode ser novamente observada na Figura 7B, bem como uma distribuição equilibrada das frações para o restante do perfil.

TABELA 4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE CAMBISSOLO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO SUBSTRATO TILITO PARA AS PROFUNDIDADES ESTUDADAS (Ca-7)

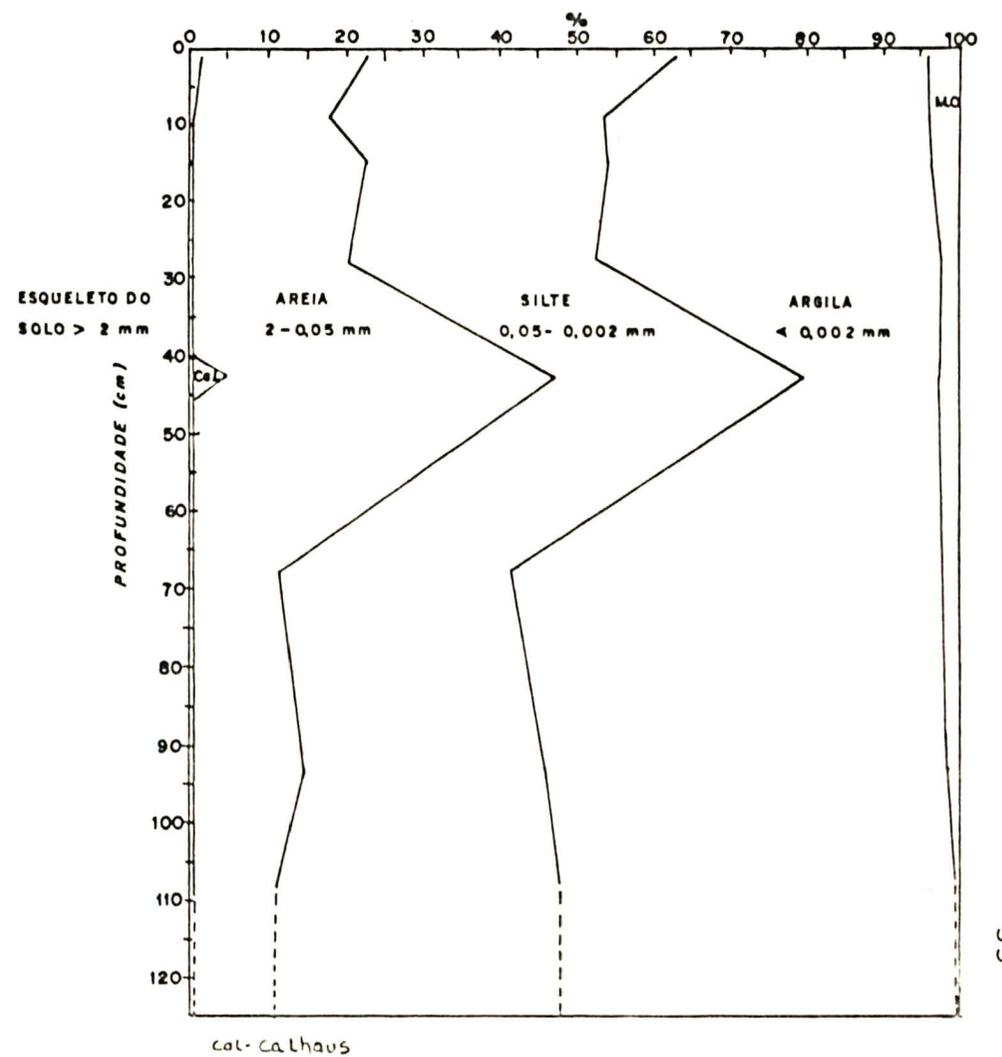
Prof. (cm)	ρ_s g/cm ³	ρ_p g/cm ³	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ de solo)			% em TFSE			% da massa do solo	
			60 cm	344 cm	15495 cm	Areia	Silte	Argila	Calhaus	Cascalho
0 - 35	1,12	2,48	40,93	38,80	21,94	21,07	36,60	42,33	0,0	0,56
35 - 65	1,38	2,56	33,72	31,29	25,24	46,00	34,30	19,70	4,53	0,19
65 - 95	1,45	2,63	39,16	37,47	33,64	12,85	31,15	56,00	0,0	0,29
95-125	1,54	2,74	42,12	40,64	34,57	10,90	37,10	52,00	0,0	0,26

FIGURA 7. DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE Ca-7

A. DISTRIBUIÇÃO DE POROS NO SOLO EM PROFUNDIDADE.



B. DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE



A Figura 7A, mostra que a porosidade total do solo sofre um pequeno decréscimo em profundidade, variando na faixa de 60 a 40% no perfil. No entanto, a macroporosidade que na superfície é baixa, provavelmente por compactação mecânica, alcança um valor máximo (20%) a 10cm, decrescendo até valores na ordem de 3% a partir de 70 cm.

Na Figura 8, observa-se que na superfície 0 a 35 cm, as relações água-solo foram boas, visto que houve água disponível em todo período, e a porosidade de aeração manteve-se em níveis elevados.

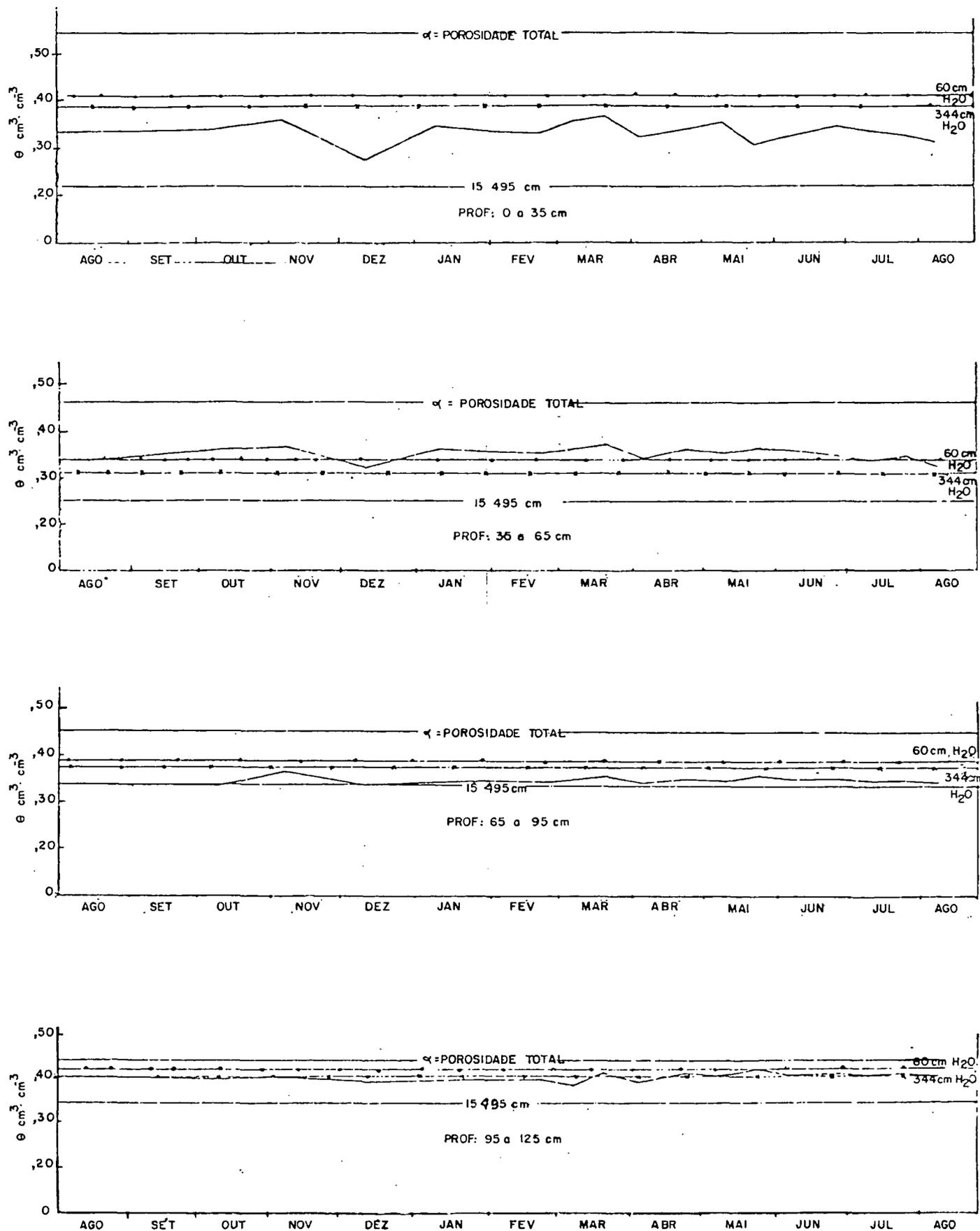
Na profundidade de 35 a 65 cm durante praticamente todo o ano, a umidade esteve quase sempre acima da capacidade de campo.

Na camada subsequente, a variação de umidade voltou a oscilar entre o ponto de murchamento permanente e a capacidade de campo, mantendo o solo em condições de aeração razoáveis; enquanto que na camada de 90 a 125 cm observa-se baixa porosidade de aeração e a umidade oscilante em torno da capacidade de campo.

De acordo com BAVER³, os valores de porosidade de aeração devem estar abaixo do desejável para o desenvolvimento das raízes. Diante disso, o limite provável da profundidade efetiva deste solo deve estar aproximadamente aos 70 cm.

A variação não esperada que ocorreu na segunda camada, pode ser atribuída a sua constituição, onde predomina material grosseiro e o valor de argila é da ordem de 19%. Como os valores que representam a faixa de umidade próxima a capacidade de campo foram obtidos com amostras indeformadas, o resultado obtido representa uma média de materiais porosos com materiais compactos (cascalho e calhaus). Observa-se também, nesta camada,

FIGURA 8. VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADES E NO TEMPO NA UNIDADE Ca-7



que apesar da umidade estar acima da capacidade de campo, é mantida a porosidade da aeração, o que reforça a hipótese levantada.

A Tabela 3 mostra que a altura média das árvores sobre a unidade investigada foi de 11,70 m, sendo inferior apenas à da unidade PVA-5.

4.2.2 Re-5. Solo litólico Ta eutrófico A moderado textura média fase floresta perenifolia relevo suave ondulado substrato tilito

Os valores médios de suas principais características físicas e retenção de água estão demonstrados na Tabela 5 e representados graficamente nas Figuras 9 e 10.

A alta massa específica do solo, de 35 a 65 cm (Tabela 5), atribui-se ao elevado teor de material grosseiro.

Esta unidade é bastante rasa, tendo um horizonte A pouco espesso (Tabela 13 em Anexo), apresentando maior porcentagem de materiais grosseiros (maior que 2 mm de diâmetro), que as demais unidades estudadas, conforme Figura 9B.

Na Figura 9A, observa-se que a porosidade total e macroporosidade são bastante altas até aproximadamente 3 cm, oscilando em torno de 60% e 23%, respectivamente. Resumindo a macroporosidade manteve-se na ordem de 10%.

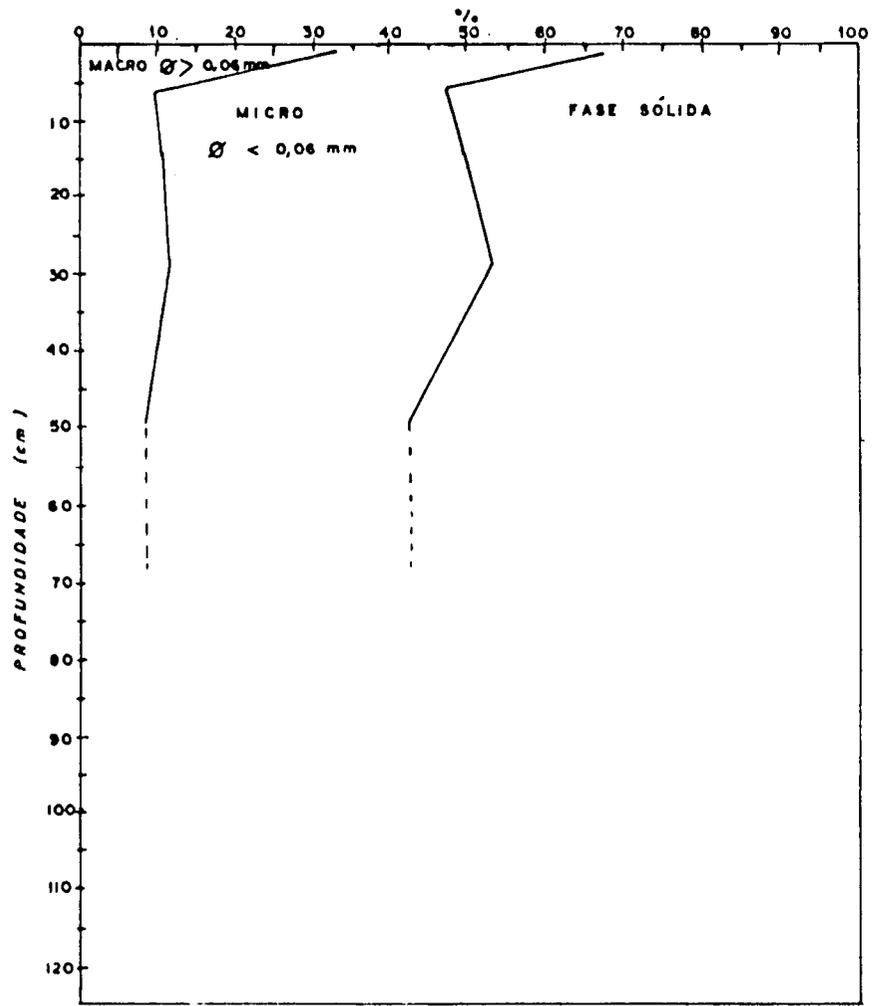
Na camada de 0 a 35 (Figura 10) houve uma boa distribuição da umidade durante todo o período, embora no início de dezembro de 1985 a umidade esteve próximo ao ponto de murchamento permanente. Conforme a Figura 3, neste período não houve incidência de chuvas na região, justificando a menor umidade do solo. A porosidade de aeração foi elevada, havendo

TABELA 5. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA MÉDIA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO SUBSTRATO TILITO PARA AS PROFUNDIDADES ESTUDADAS Re-5

Prof. (cm)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ solo)			% em TFSE			% da massa do solo	
			60	344	15495	Areia	Silte	Argila	Calhaus	Cascalho
0-35	1,12	2,47	38,33	33,06	22,16	21,05	51,85	27,10	2,93	7,63
35-65	1,50	2,62	33,81	33,42	29,86	36,20	49,80	14,00	3,23	53,96
65-95	Tilito									

FIGURA 9. DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE Re-5

A. DISTRIBUIÇÃO DE POROS NO SOLO EM PROFUNDIDADE



B. DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE

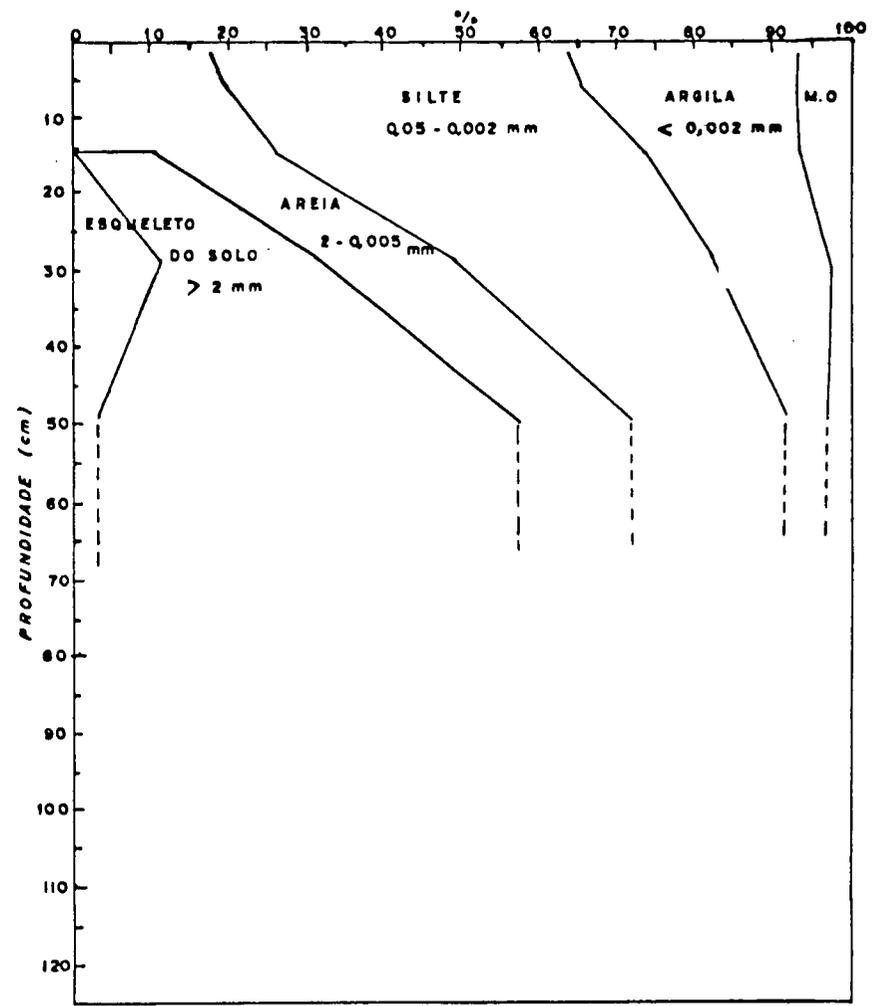
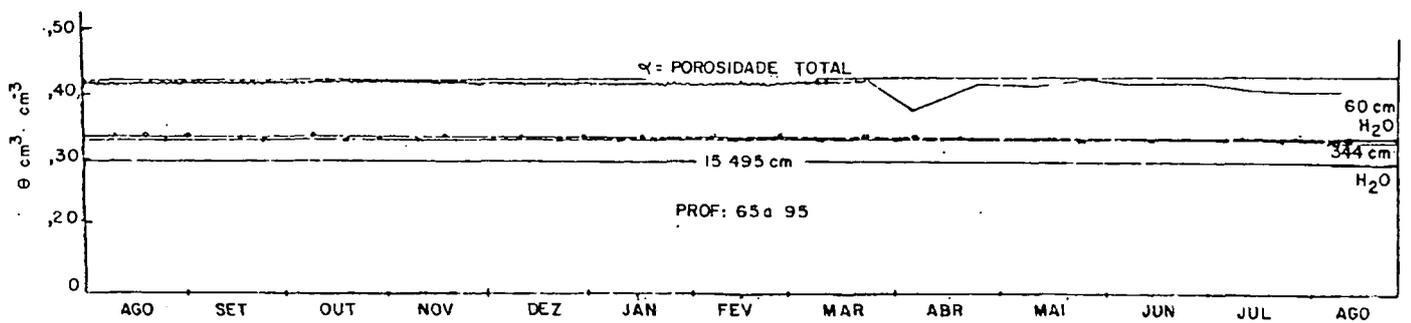
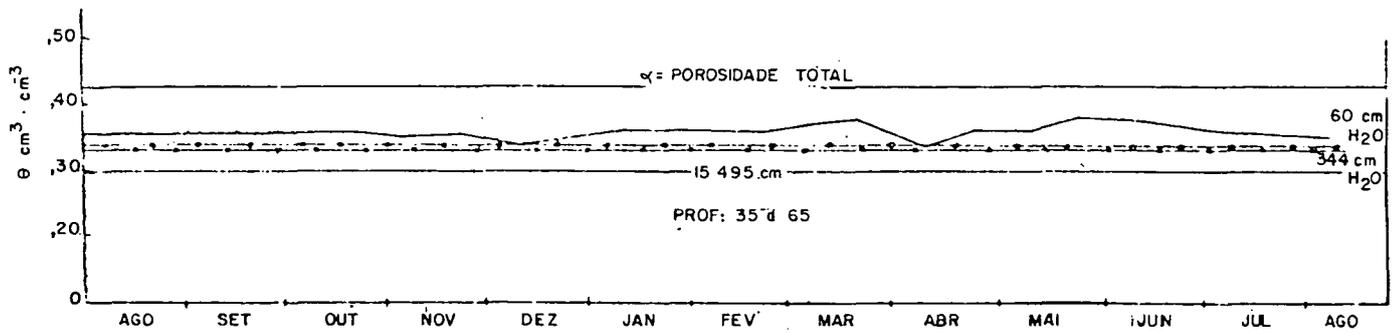
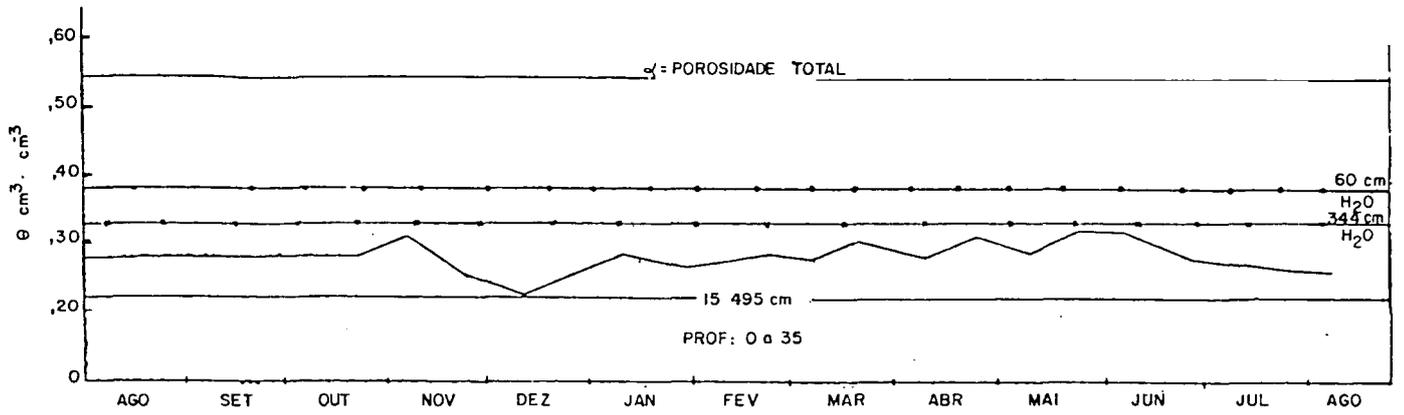


FIGURA 10. VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADES E NO TEMPO NA UNIDADE Re-5



disponibilidade de água durante todo o período investigado.

De 35 a 65 cm a umidade manteve-se acima da capacidade de campo e com reduzida porosidade de aeração. Nesta profundidade tem-se praticamente o material de origem próximo, o qual possui grande capacidade de retenção de água, por apresentar predominância de microporos, embora predomine material grosseiro e o teor de argila oscile em torno de 14%.

Na camada abaixo, de 65 a 95 cm, a umidade esteve durante todo o período quase ao mesmo nível da porosidade total com severas restrições na disponibilidade de oxigênio para as raízes, o que provavelmente afetou o desenvolvimento da espécie estudada, concordando com o trabalho de WILDE *et alii*⁵⁵ onde observou que muitas coníferas diminuíram em crescimento quando a aeração do solo foi inferior a 4%.

Na Tabela 3, se observa a altura média das árvores nesta unidade, que foi de 8,90 m, superior a unidade Re-4. Observando-se a Figura 2 esta unidade (Re-5) ocupa posição intermediária na toposequência o que leva a atribuir o menor desenvolvimento em altura do sítio, ao baixo volume de material que oferece condições razoáveis de exploração pelo sistema radicular da planta. As características físicas da unidade também afetaram negativamente o crescimento em períodos de estiagem visto que tem uma baixa capacidade de armazenamento nas duas camadas superiores.

4.2.3 PVa-5 - Podzólico Vermelho Amarelo Tb álico A moderado
textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia
relevo ondulado

Os valores médios das principais características físicas estão na Tabela 6, as quais mantêm uma relação entre si, tornando evidente os efeitos da argila e matéria orgânica na retenção de água.

Na Figura 11A, observa-se que a porosidade total sofre uma pequena variação com a profundidade, variando na faixa de 47 a 57% no perfil, a macroporosidade que na camada mais superficial estava em torno de 14%, a partir dos 50 cm de profundidade tem seu valor reduzido chegando a 107 cm com aproximadamente 5%.

A Figura 11B, mostra que a distribuição das frações do solo, para a unidade é equilibrada, com gradiente textural entre 50 e 90 cm, profundidade onde se evidencia a predominância de microporos.

Na Figura 12 observa-se na camada de 0 a 35 cm a disponibilidade de água e ar durante todo o período analisado, e o seu comportamento, isto é, a variação do conteúdo de água, está compatível com o regime pluviométrico da região (Figura 3).

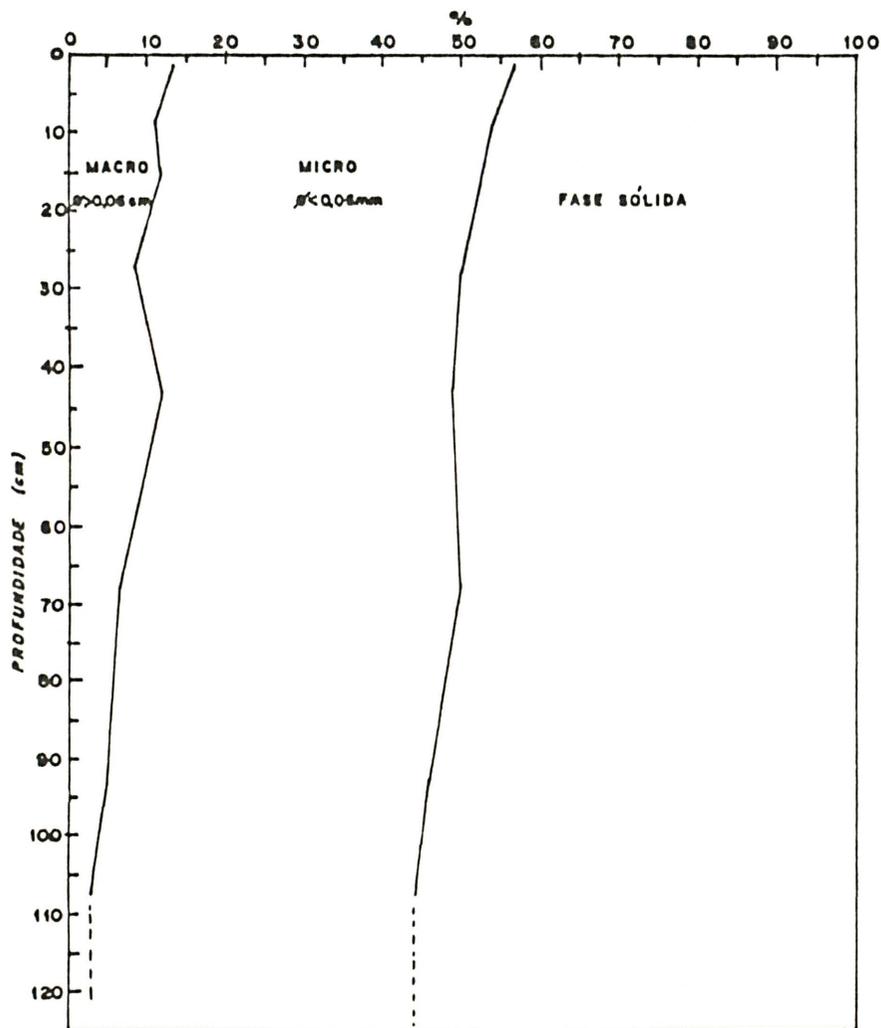
Na profundidade de 35 a 65 cm, embora o solo apresentasse porosidade de aeração na maior parte do ano, a umidade esteve durante quase todo o período oscilando ao redor da capacidade de campo, que pode ser atribuída a variação de porosidade no perfil, estando esta camada assentada sobre outra de menor permeabilidade. A porosidade de aeração, dentro dos limites satisfatórios, deve-se a macroporosidade da camada.

TABELA 6. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO ONDULADO PARA AS PROFUNDIDADES ESTUDADAS (PVa-5)

Prof. (cm)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ solo)			% em TFSE			% de massa do solo	
			60	330	15495	Areia	Silte	Argila	Calhaus	Cascalho
0 - 35	1,17	2,51	42,04	34,51	21,07	21,55	36,95	41,50	0,0	0,0
35 - 65	1,29	2,53	36,66	35,00	21,02	19,70	34,30	46,00	0,0	2,04
65 - 95	1,32	2,53	41,85	38,88	27,21	15,80	30,20	54,00	2,54	0,60
95-125	1,47	2,66	42,04	40,71	29,50	19,90	36,10	44,00	0,0	2,02

FIGURA 11. DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE PVa-5

A. DISTRIBUIÇÃO DE POROS NO SOLO EM PROFUNDIDADE



B. DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE

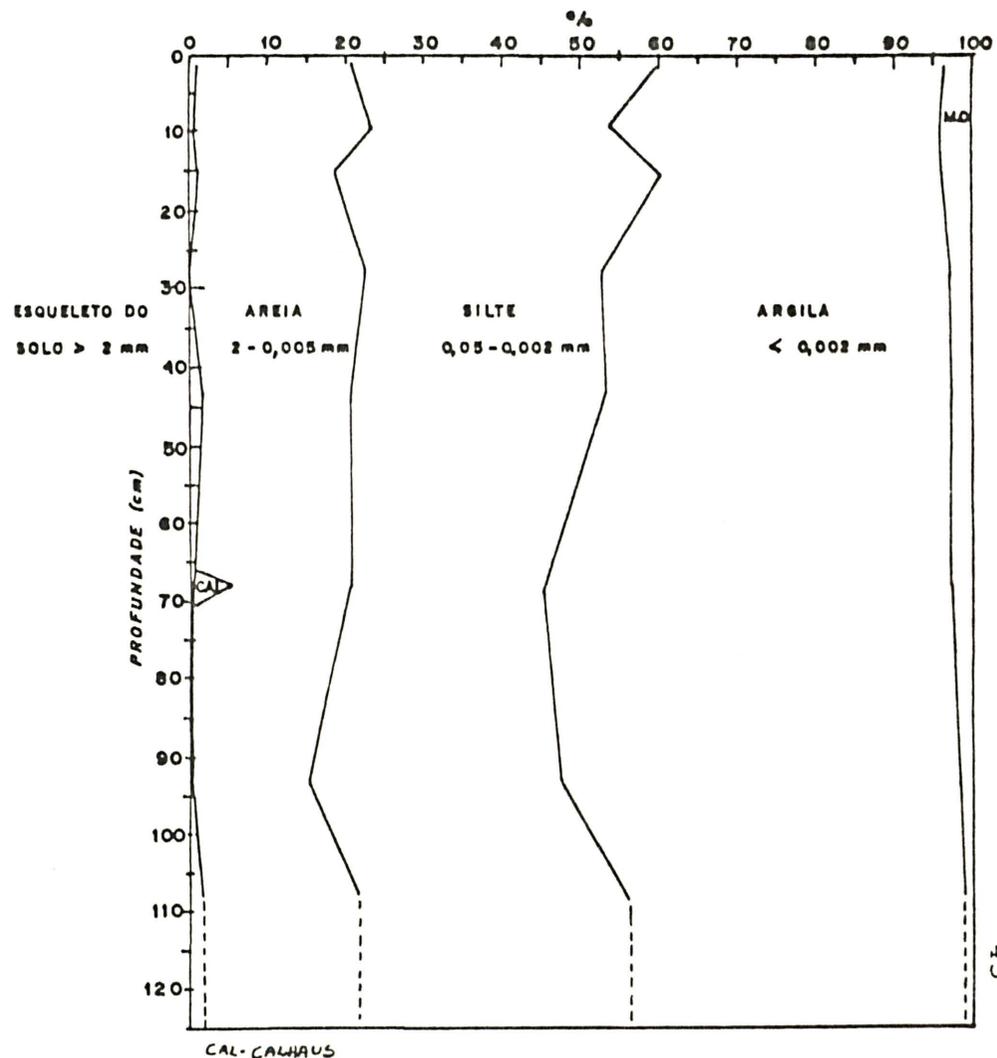
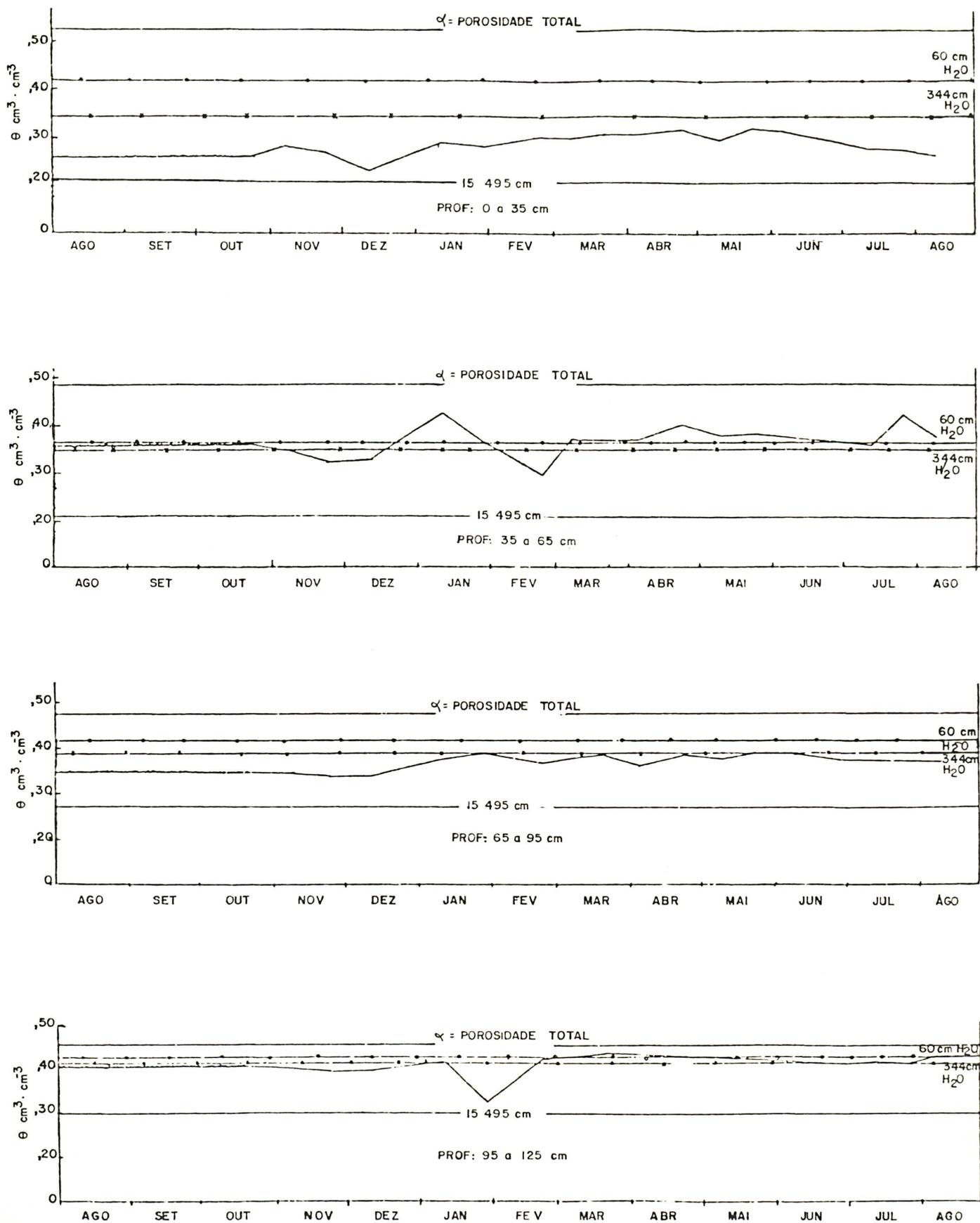


FIGURA 12. VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO NA UNIDADE PVa-5



Na camada de 65 a 95 cm, a umidade manteve-se próximo a 38%, não atingindo a capacidade de campo e mantendo o solo em condições de aeração. Entretanto, na camada subsequente, de 95 a 125 cm, observa-se baixa porosidade de aeração e a umidade oscilando entre a capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente. Como esta unidade obteve o maior desenvolvimento em altura (13,00 m), sendo pouco superior a unidade Ca-7 anteriormente descrita. Comparando-se o valor anterior com os obtidos por DIETRICH¹³, no estado de Santa Catarina, em análise de tronco de árvores com 25 anos de idade, onde obteve crescimento em altura dominante de 16,80 m em Podzólico Vermelho Amarelo bem drenado e 10,65 m no mesmo solo, mas, moderadamente drenado; sendo que o índice de sítio aos 15 anos deste povoamento, segundo DE HOOGH & DIETRICH¹¹ (Figura 6), seria de 14 a 18, correspondendo a uma altura dominante entre 10,88 e 13,99, respectivamente, portanto, pode-se atribuir o bom desenvolvimento da unidade PVA-5 as seguintes alternativas, considerando as condições climáticas da região:

- a) macroporosidade ao redor de 10% até profundidade de 50 cm;
- b) as boas condições entre água disponível e porosidade de aeração até 95 cm;
- c) a interação destas duas características.

4.2.4 Re-4 - Solo Litólico Ta eutrófico A moderado textura argilosa fase floresta subtropical perenifolia relevo suave ondulado substrato folhelho

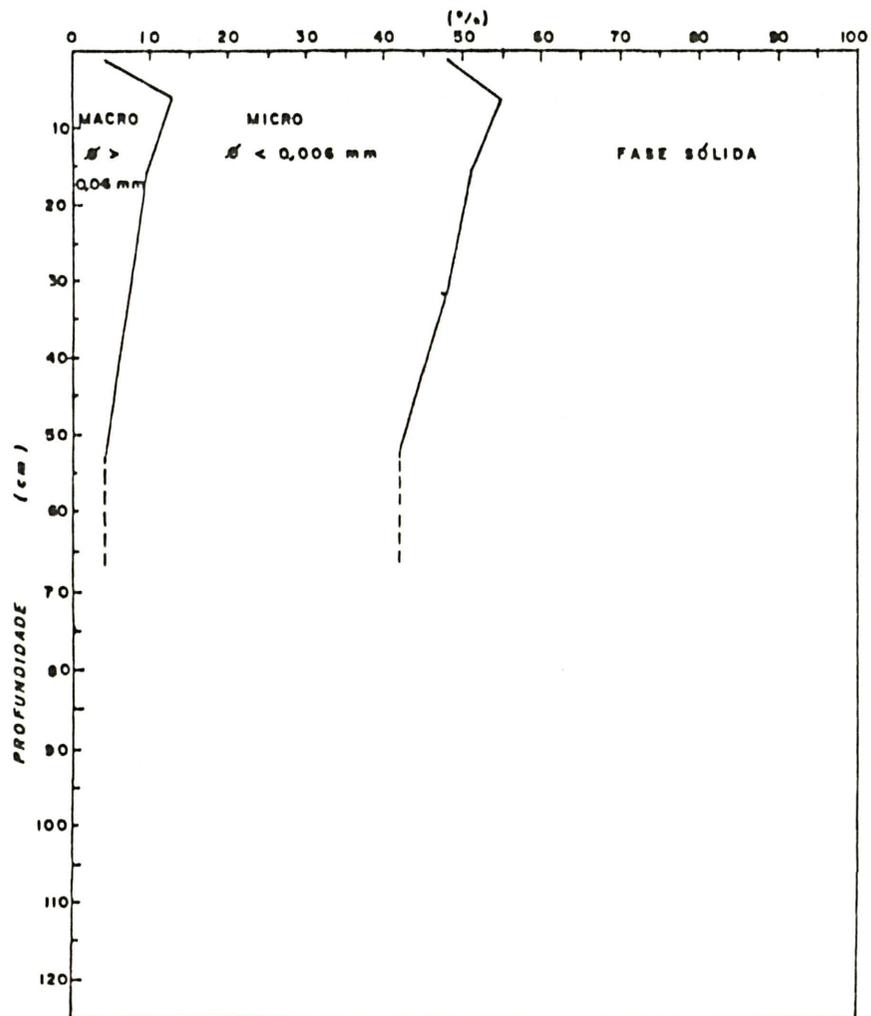
Os valores médios das principais características físicas desta unidade, estão na Tabela 7 e representadas graficamente nas Figuras 13 e 14.

TABELA 7. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO
 TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAWE ONDULADO
 SUBSTRATO FOLHELHO PARA AS PROFUNDIDADES ESTUDADAS (Re-4)

Prof. (cm)	ρ_s (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ solo)			% em TFSE			% da massa do solo	
			60	344	15495	Areia	Silte	Argila	Calhaus	Cascalho
0-35	1,24	2,55	41,72	39,88	27,65	33,35	32,90	33,75	3,66	21,28
35-65	1,55	2,68	38,00	36,65	22,43	50,60	31,40	18,00	14,92	43,17
65-95	Folhelho									

FIGURA 13. DISTRIBUIÇÃO DE POROS E DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE NA UNIDADE Re-4

A. DISTRIBUIÇÃO DE POROS NO SOLO EM PROFUNDIDADE



B. DISTRIBUIÇÃO DAS FRAÇÕES DO SOLO (%) EM PROFUNDIDADE

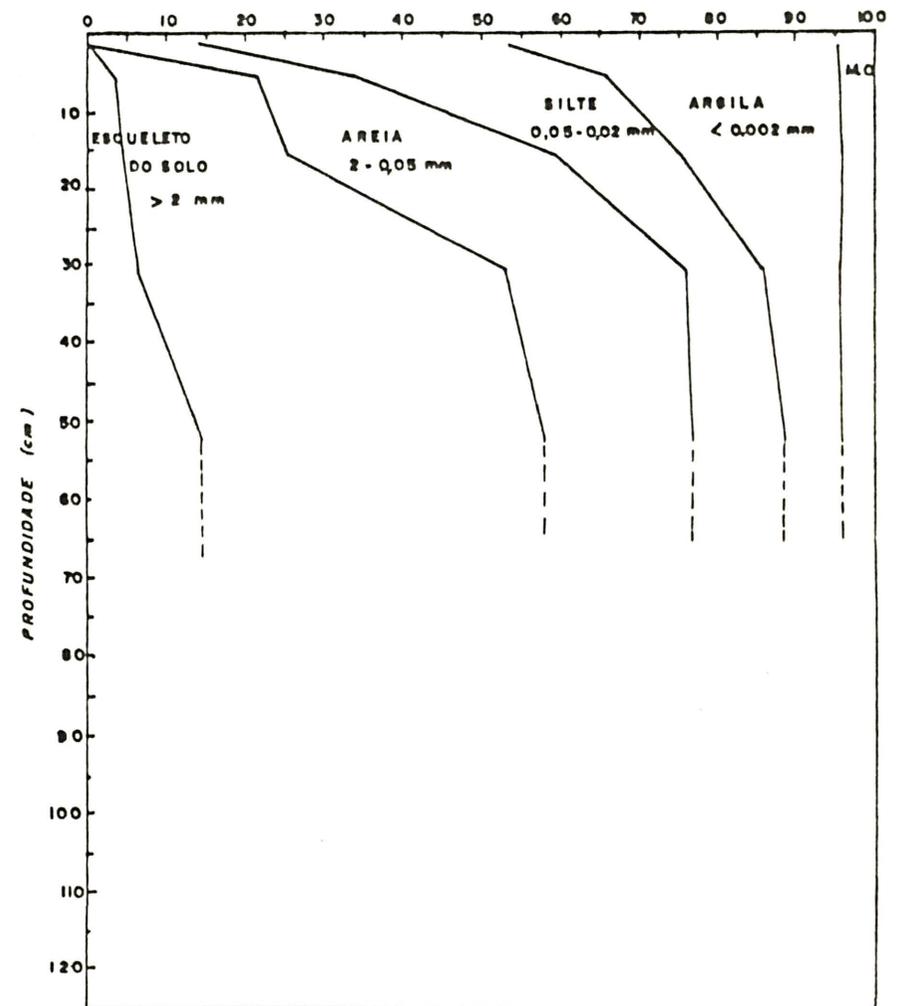
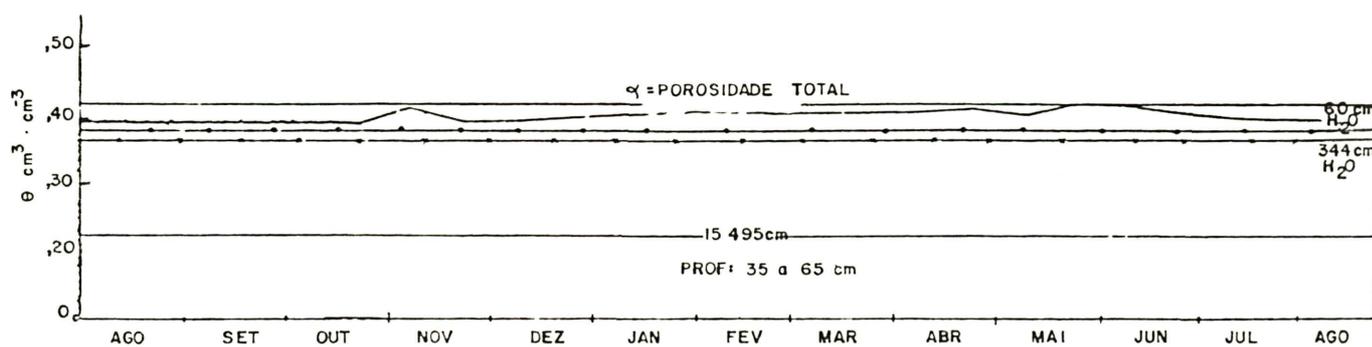
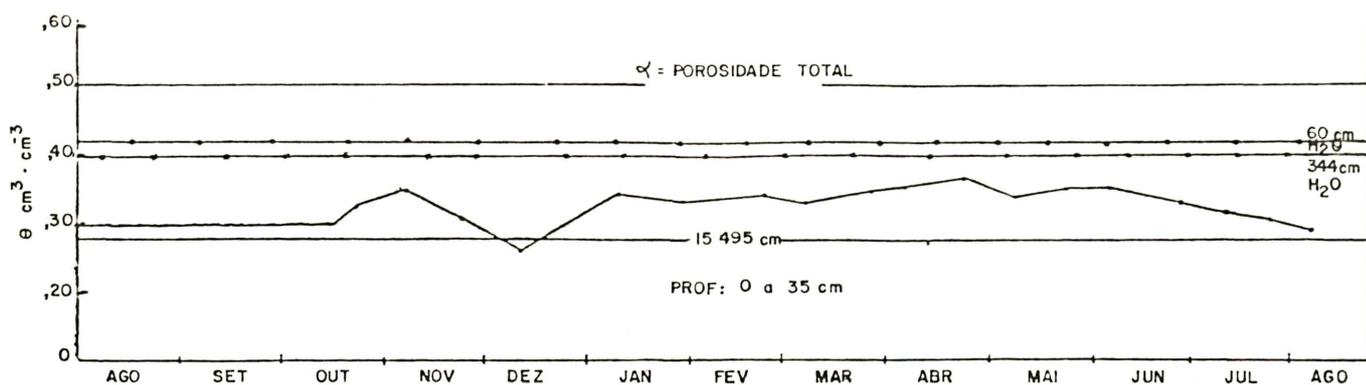


FIGURA 14. VARIAÇÃO DA UMIDADE DO SOLO EM PROFUNDIDADES E NO TEMPO NA UNIDADE Re-4



A maior densidade do solo na camada de 35 a 65 cm (Tabela 12) provavelmente é devida a distribuição das frações do solo, que possuem grande quantidade de material grosseiro.

Este perfil é pouco profundo (15 cm), tendo um horizonte A de 15 cm de espessura (Tabela 13). DE HOOGH⁹ em estudo de sítio para o Estado do Paraná, constatou que para solos com horizonte A de aproximadamente 50 cm, houve correlação positiva entre a profundidade do solo e a altura de crescimento, o que talvez possa justificar o baixo incremento nesta unidade.

A Figura 13A mostra que tanto a porosidade total como a macroporosidade reduzem gradativamente seus valores com a profundidade, chegando aos 45 cm com aproximadamente 4% de macroporosidade.

Na Figura 13B, observa-se a distribuição das frações do solo onde constata-se a grande porcentagem de material grosseiro.

Na camada de 0 a 35 cm, representada na Figura 14, observa-se que a umidade esteve durante todo o período abaixo da capacidade de campo, chegando em certo período a atingir umidade abaixo da retida a tensão de 15495 cm de coluna de água, esta deficiência no suprimento hídrico, pode ser devido a pouca profundidade do solo que deve ter influenciado no desenvolvimento em altura da *Araucaria*, corroborando com ANDRAE & KRAPFEMBAUER¹. A porosidade de aeração manteve-se elevada na maior parte do período considerado.

Na camada de 35 a 65 cm de profundidade, a umidade manteve-se durante todo o período acima da capacidade de campo, estando com porosidade de aeração praticamente nula sendo o povoamento que apresentou o menor índice de crescimento, isto é, 8,50 m (Tabela 3).

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE AS UNIDADES DE SOLOS

Analisando-se todos os perfis pode-se constatar, as seguintes relações para altura e porosidade de aeração.

$$\begin{aligned} \text{PVA-5} &> \text{Ca-7} > \text{Re-5} > \text{Re-4} \\ \alpha\text{aPVA-5} &> \alpha\text{aCa-7} > \alpha\text{aRe-5} > \alpha\text{aRe-4} \end{aligned}$$

A maior altura constatada na unidade PVA-5 acredita-se ser devido a uma equilibrada distribuição das frações do solo, enquanto que no perfil Ca-7 tem uma descontinuidade litológica em torno de 45 cm de profundidade.

A diferença de 1,30 m encontrada entre os povoamentos Ca-7 e PVA-5 é pequena e portanto estas unidades tem comportamento físico semelhantes; fica evidente a importância da avaliação deste comportamento na classificação de sítio.

Também é evidente a semelhança da distribuição dos poros das unidades PVA-5 e Ca-7 que por ocuparem posições altas na paisagem e possuírem na maior parte do perfil distribuição granulométrica aproximadas levaram ao comportamento físico similar.

Estas unidades satisfazem a condição proposta por VAN GOOR⁴⁹⁻⁵⁰; GOLFARI²⁰; BLUM⁴; DE HOOGH & DIETRICH¹⁰⁻¹¹ e DE HOOGH⁹ quanto à exigência da *Araucaria angustifolia* em relação à profundidade do solo.

Comparando-se a altura das árvores das unidades Re-5 e Re-4 que foi de 8,90 m e 8,50 m, respectivamente, acredita-se que o desenvolvimento destas unidades pode ser atribuído a homogeneidade da distribuição das frações do solo e teor de argila os quais são bastante semelhantes, associada a boa distribuição dos poros. A unidade Re-5 manteve uma porosidade

de aeração dentro do limite tolerável (10%), enquanto a unidade Re-4 teve sua porosidade de aeração afetada a partir dos 35 cm aproximadamente, o que juntamente com a pouca espessura do horizonte A e profundidade do solo, posição da unidade na paisagem (ocupa a posição mais baixa) e condições climáticas da região favoreceram a concentração de água.

Estes dados mostram que quando a profundidade efetiva estiver entre 50 cm e 1,0 m com um mínimo de 10% de porosidade de aeração os povoamentos tiveram um bom crescimento.

Na Tabela 8 observa-se os valores médios acumulados de armazenamento de água e ar e a relação entre eles para cada unidade investigada, evidenciando a importância da porosidade de aeração.

TABELA 8. VALORES MÉDIOS ACUMULADOS DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (\bar{W} , mm) E DE AR (\bar{W}_{ar} , mm) e RELAÇÃO \bar{W}/\bar{W}_{ar} , PARA CADA UNIDADE INVESTIGADA

Profundidade (cm)					
0-35	\bar{W}	117,00	98,94	101,37	118,82
	\bar{W}_{ar}	73,29	87,76	85,45	57,60
	\bar{W}/\bar{W}_{ar}	1,59	1,12	1,18	2,06
0-65	\bar{W}	222,30	207,30	212,22	240,71
	\bar{W}_{ar}	106,27	93,09	120,64	58,25
	\bar{W}/\bar{W}_{ar}	2,09	2,22	1,76	4,13
0-95	\bar{W}	326,40	339,09	323,06	240,71
	\bar{W}_{ar}	137,22	93,09	153,28	58,25
	\bar{W}/\bar{W}_{ar}	2,37	3,64	2,10	4,13
0-125	\bar{W}	447,10	339,09	417,06	240,71
	\bar{W}_{ar}	147,90	93,09	170,27	58,25
	\bar{W}/\bar{W}_{ar}	3,02	3,64	2,45	4,13

Podemos observar nas Figuras 15, 16, 17 e 18 o armazenamento de água e ar acumulativo durante o ano investigado, representando, desta maneira, graficamente as Tabelas 15, 16, 17 e 18.

O bom desenvolvimento em altura da *Araucaria* na unidade PVa-5 pode ser correlacionado com a sua porosidade de aeração acumulada que manteve-se elevada durante todo o período, assim como da unidade Ca-7 um pouco inferior.

Nas Figuras 19, 20 e 21 estão representadas respectivamente a relação entre a altura média das árvores de cada povoamento estudado em relação ao armazenamento de água acumulado, porosidade de aeração acumulada; relação armazenamento de água/armazenamento de ar acumulado para diferentes profundidades no perfil em cada unidade estudada.

Pode-se observar na Figura 19 a grande dispersão dos pontos, enquanto na Figura 20B que representa a profundidade de 0 a 65 cm, percebe-se uma correlação entre a altura e porosidade de aeração.

Na Figura 21B, observa-se que a relação umidade e porosidade de aeração melhora sensivelmente, sendo que quanto menor o valor da relação, maior a altura.

Nas Figuras 20 e 21 podemos observar uma correlação entre a altura e porosidade de aeração e para a relação armazenamento de água/armazenamento de ar.

Tal resultado demonstra que nas condições climáticas e pedológicas investigadas, a porosidade de aeração e macroporosidade são os fatores de crescimento mais importantes e limitantes para a *Araucaria*.

FIGURA 15. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (W) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA A UNIDADE DE SOLO Ca-7

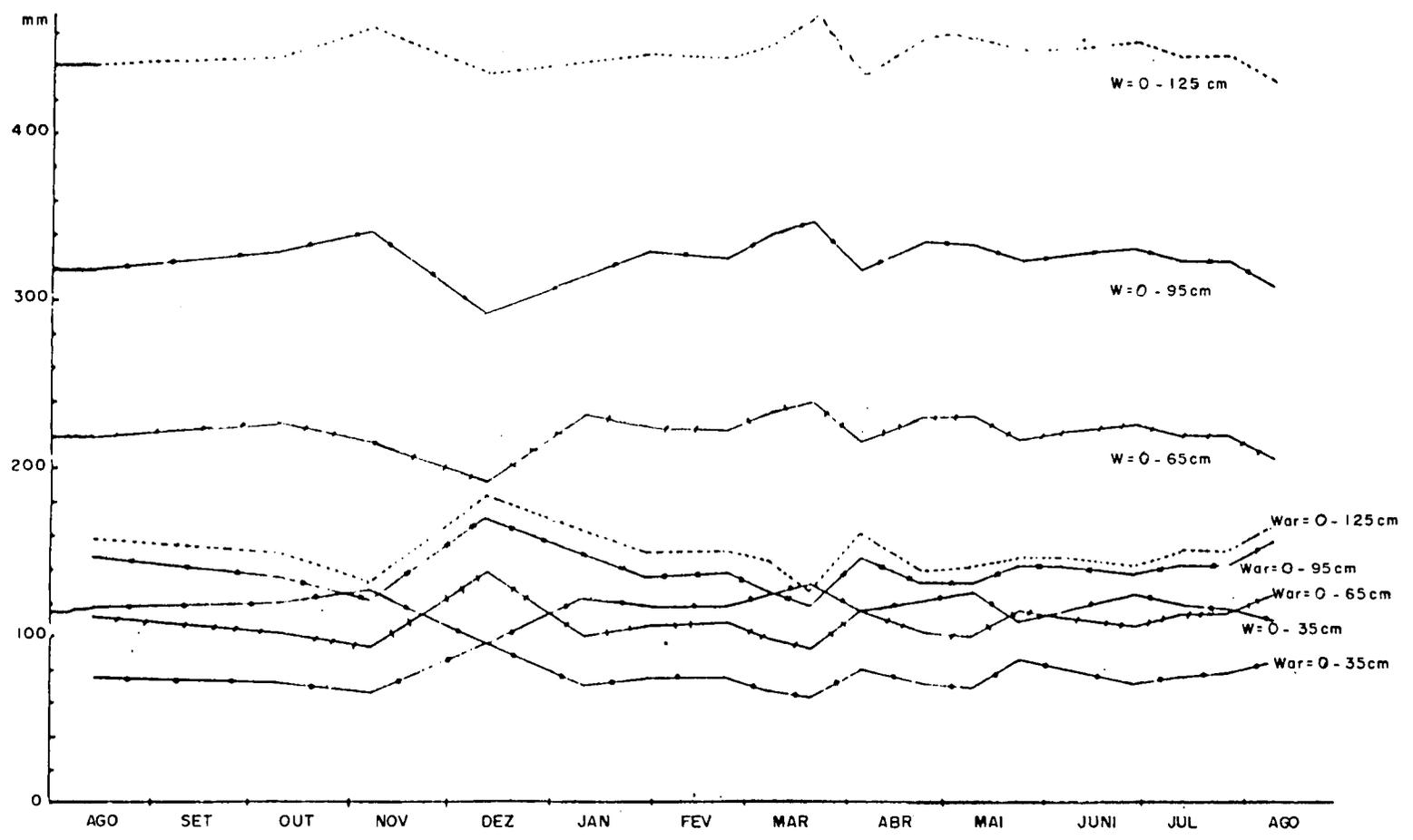


FIGURA 16. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (W) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA UNIDADE DE SOLO Re-5

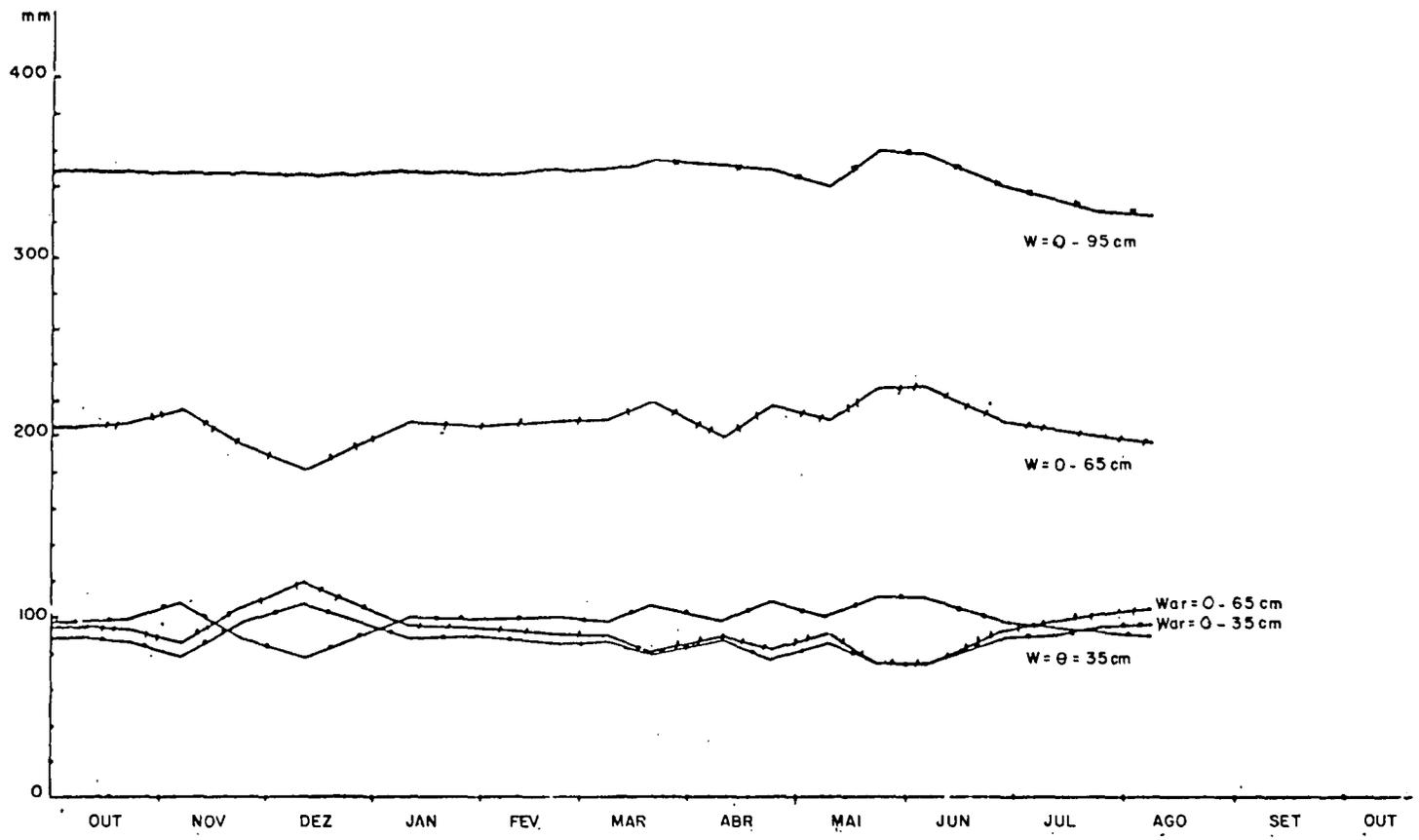


FIGURA 17. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (W) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA A UNIDADE DE SOLO PVa-5

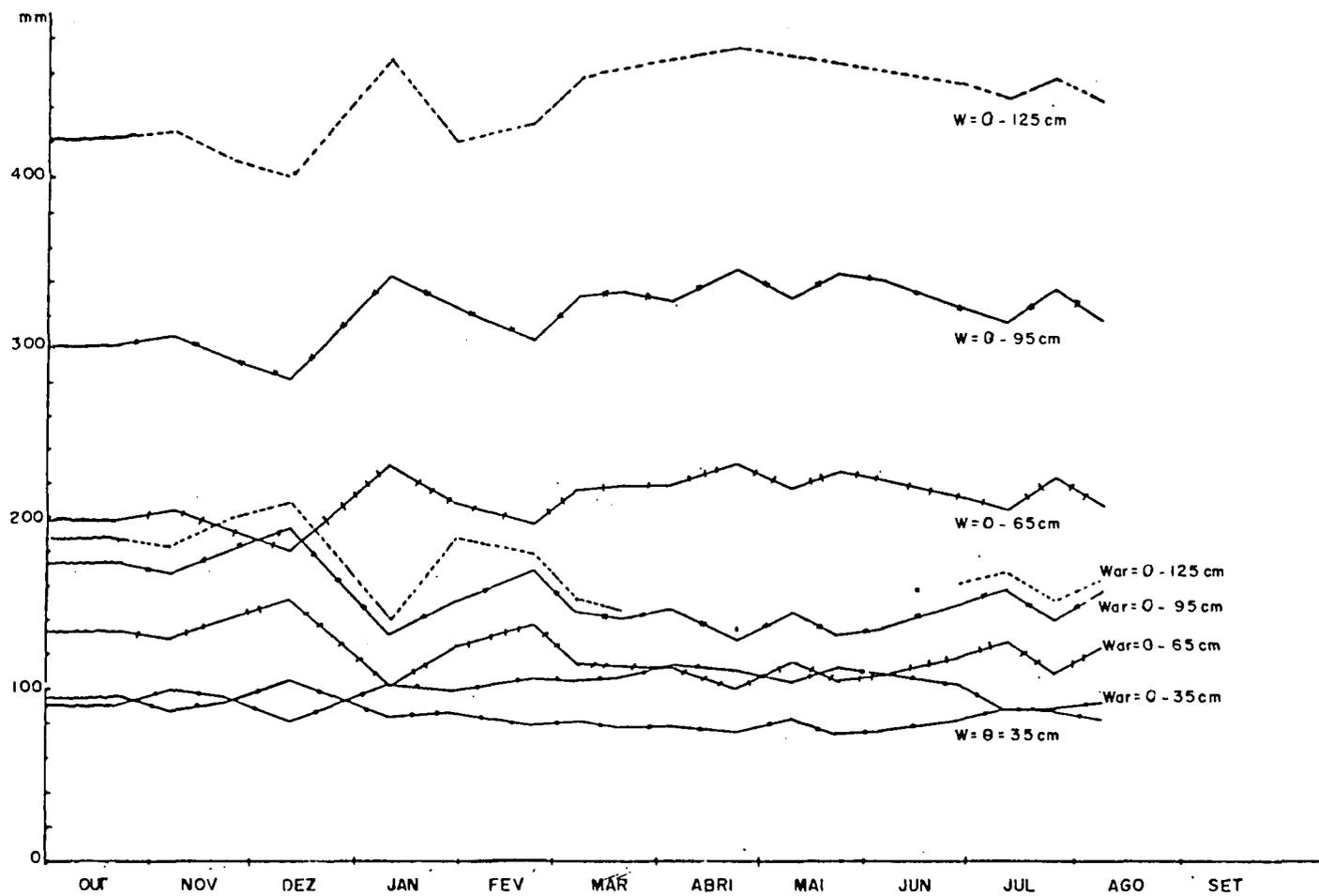


FIGURA 18. ARMAZENAMENTO DE ÁGUA (W) E DE AR (War) ACUMULATIVO PARA A UNIDADE DE SOLO Re-4

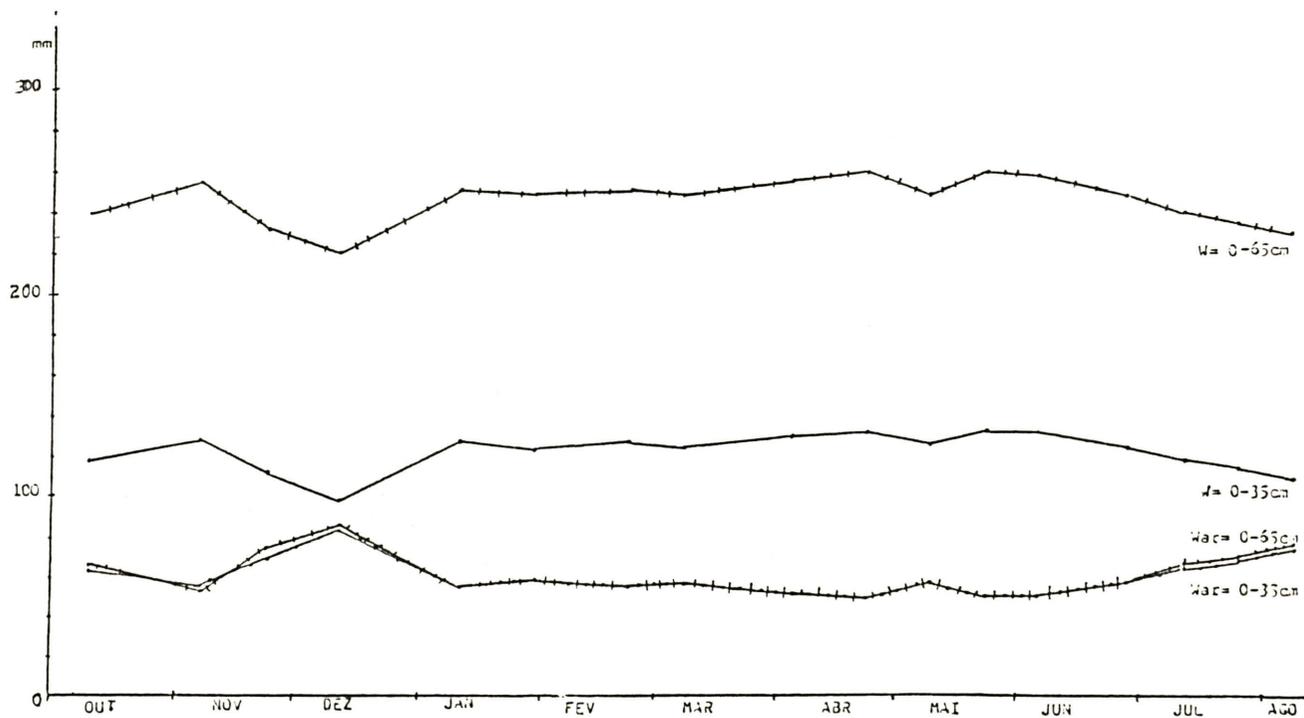


FIGURA 19. RELAÇÃO ENTRE A ALTURA MÉDIA DAS ÁRVORES DE CADA POVOAMENTO EM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA ACUMULADO

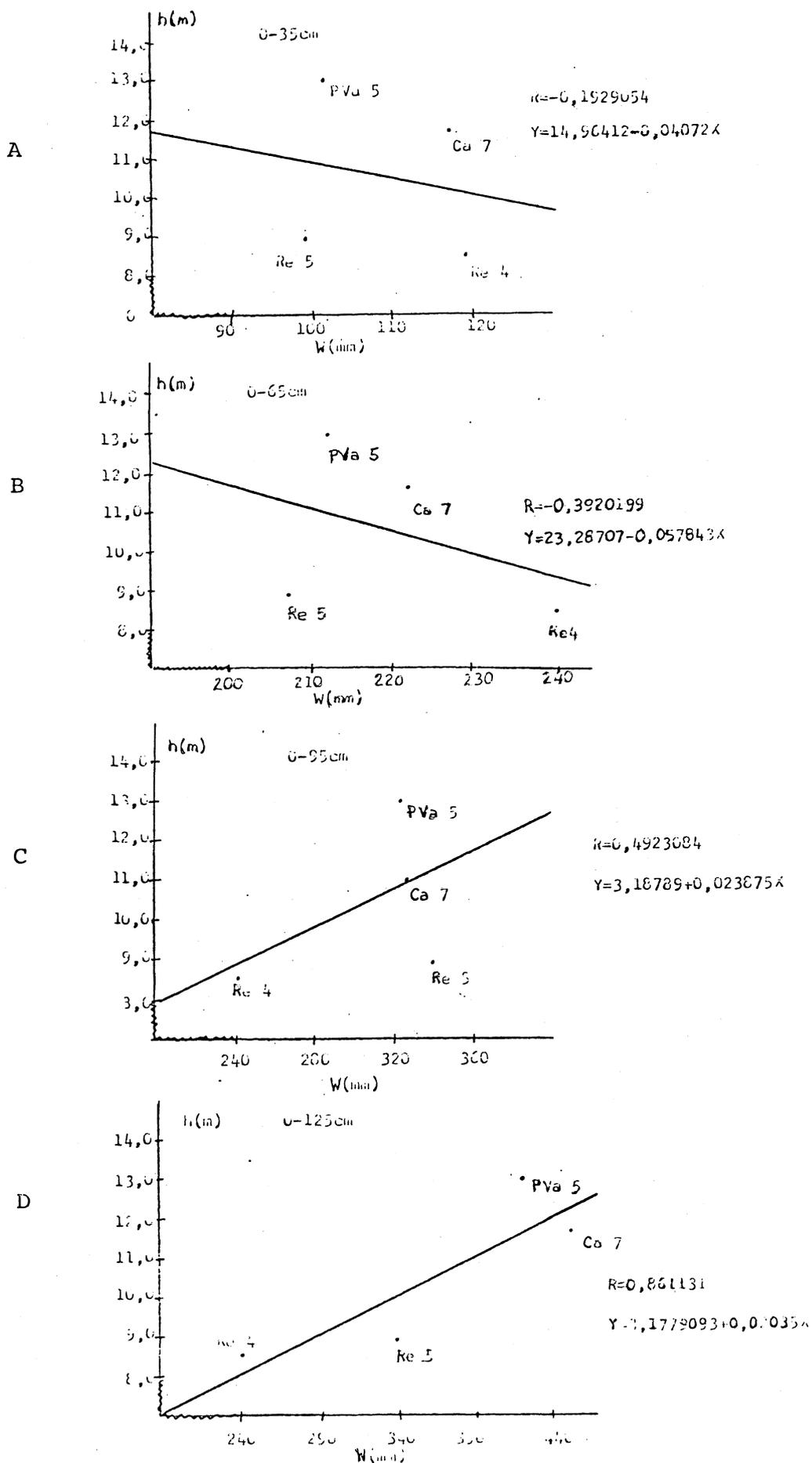


FIGURA 20. RELAÇÃO ENTRE A ALTURA MÉDIA DAS ÁRVORES DE CADA POVOAMENTO EM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO DE AR ACUMULADO

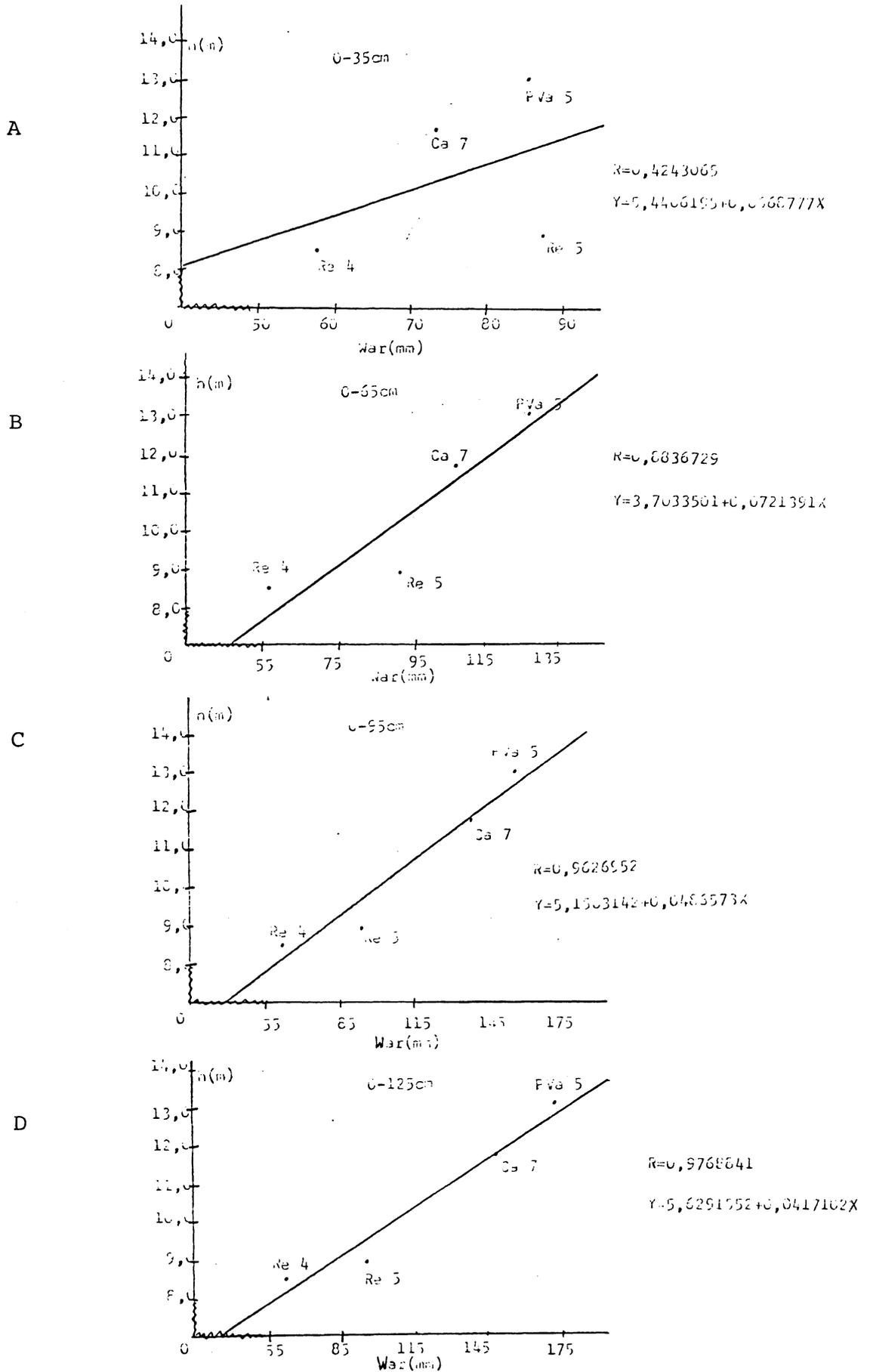
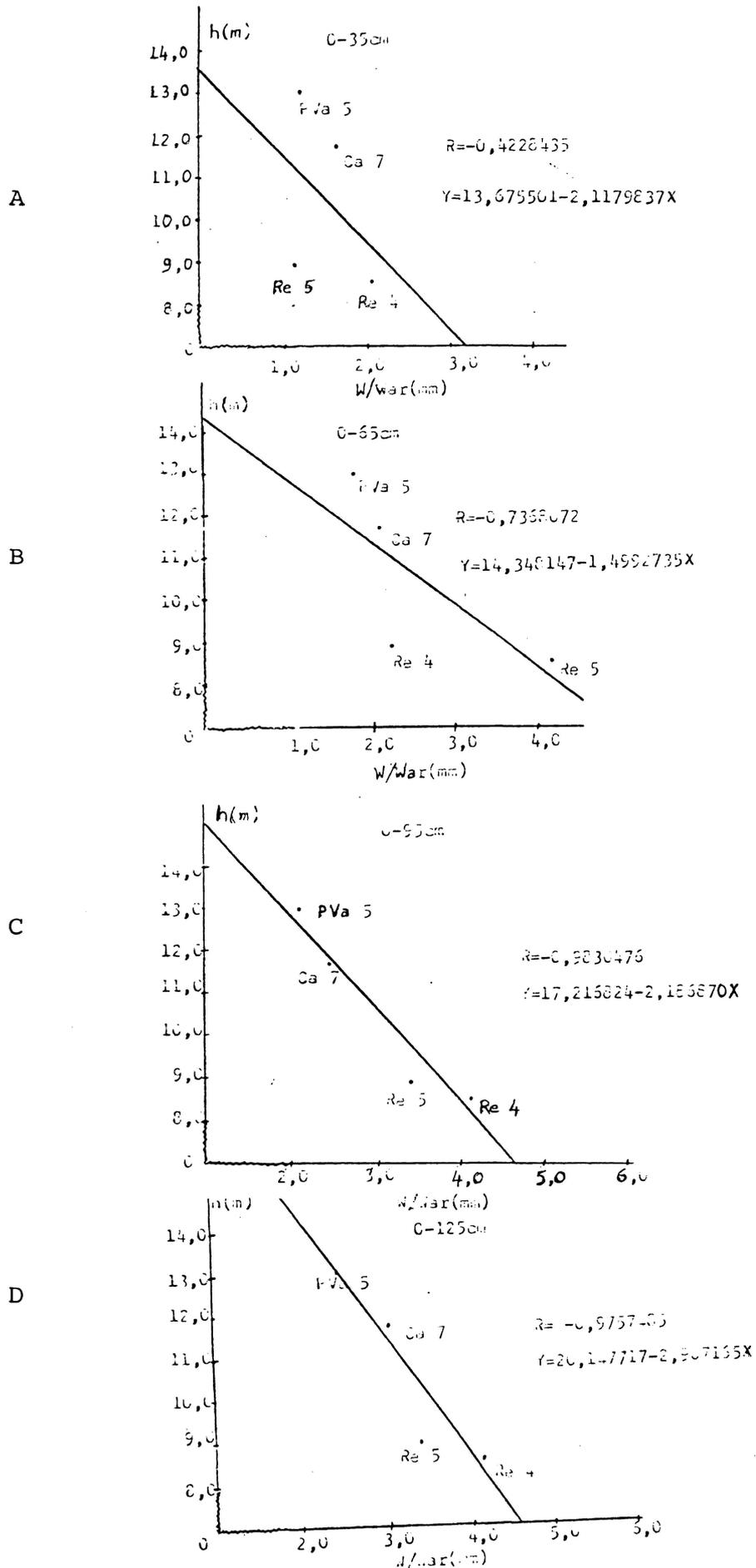


FIGURA 21. RELAÇÃO ENTRE A ALTURA MÉDIA DAS ÁRVORES DE CADA POVOAMENTO COM RELAÇÃO AO ARMAZENAMENTO DE ÁGUA/ARMAZENAMENTO DE AR ACUMULADO



5 CONCLUSÕES

A análise dos resultados nas condições estudadas, permitiram as seguintes conclusões:

- a) O desenvolvimento da *Araucaria angustifolia* está diretamente relacionado com as características físicas do solo.
- b) Nas condições climáticas e pedológicas investigadas, a porosidade de aeração e macroporosidade são os fatores de crescimento mais importantes e limitantes para a *Araucaria*.
- c) O Podzólico Vermelho Amarelo e o Cambissolo mostraram-se como sendo os solos mais adequados para a implantação de *Araucaria angustifolia* na região, por possuírem profundidade e porosidade suficientes para um adequado desenvolvimento.
- d) Os solos litólicos estudados apresentaram um desenvolvimento inferior em altura da *Araucaria angustifolia* em relação ao Podzólico Vermelho Amarelo e Cambissolo, e sua utilização na exploração desta espécie na região tem como principal limitação a porosidade de aeração, em profundidade.

SUMMARY

The present study determined the influence of soil physical characteristics and water retention on the growth of *Araucaria angustifolia*. The study site was located on the 2nd Plateau of the State of Paraná and included for soil units: two Litolic soils (Re-5, Re-4) one Cambisol (Ca-7), and one Red-Yellow Podzolic Soil (PVA-5). The results demonstrate better development on the soil units PVA and Ca-1. The ranking in development was PVA-5 > Ca-7 > Re-5 > Re-4 due to soil physical conditions (total porosity and aeration), and climatic and topographic conditions of the study site. The soil units were characterized in their physical aspects (particle size distribution, bulk and particle densities, macro and micro-porosity, and water retention of -60, -344, -15.495 cm H₂O). Water storage and aeration porosity was monitored during one year to a depth up to 125 cm, depending on the soil unit. The data were compared to tree heights of a 15-year old plantation (site index). The results are an evidence of the importance of soil physical characteristics on the growth of the species, specially of the aeration porosity, as well as soil depth and its landscape position.

A N E X O S

TABELA 9. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE CAMBISSOLO Tb
 ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA
 SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO
 SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE (Ca-7)

9.1 GRANULOMETRIA DO SOLO (%)

Prof.	% na massa do solo		% 100 g TFSE		
	Calhaus >20 mm	Cascalho >2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm
0 - 3	0,0	1,25	22,50	42,50	35,00
6 - 12	0,0	0,33	18,40	37,50	44,30
12 - 18	0,0	0,38	22,90	33,10	44,00
25 - 31	0,0	0,31	20,50	33,50	46,00
40 - 46	4,53	0,19	46,00	34,30	19,70
65 - 71	0,0	0,35	11,30	30,70	58,00
90 - 96	0,0	0,23	14,40	31,60	54,00
105	0,0	0,26	10,90	37,10	52,00

9.2 CONSTANTES VOLUMÉTRICAS E RETENÇÃO DE ÁGUA (cm³/100 cm³ solo)

Prof.	ρ_s (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	α (%)	macro (%)	micro (%)	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ solo)		
						60 cm	344 cm	15495 cm
0 - 3	1,09	2,43	55,14	5,53	49,61	49,61	47,23	23,25
6 - 12	0,98	2,50	60,80	19,05	41,75	41,75	40,13	20,22
12 - 18	1,12	2,50	55,04	17,27	37,77	37,77	35,26	19,03
25 - 31	1,31	2,50	47,60	12,96	34,64	34,64	32,58	25,27
40 - 46	1,38	2,56	46,09	12,37	33,72	33,72	31,29	25,24
65 - 71	1,38	2,77	50,18	11,19	38,99	38,99	37,18	31,94
90 - 96	1,51	2,56	41,01	1,66	39,35	39,35	37,77	35,34
105	1,54	2,74	43,79	1,67	42,12	42,12	40,64	34,57

TABELA 10. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA MÉDIA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE (Re-5)

10.1 GRANULOMETRIA DO SOLO (%)

Prof.	% na massa do solo		% 100 g TFSE		
	Calhaus > 20 mm	Cascalho II >2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila < 0,002 mm
0 - 3	0,0	0,0	18,40	49,60	32,00
3 - 9	0,0	0,0	20,20	49,80	30,00
9 - 20	0,48	10,22	18,60	58,00	23,40
22 - 35	11,23	20,31	27,00	50,00	23,00
43 - 56	3,23	53,96	36,20	49,80	14,00
56 - 80 ⁺	Folhelho				

10.2 CONSTANTES VOLUMÉTRICAS E RETENÇÃO DE ÁGUA (cm³/100 cm³ solo)

Prof.	ρ_s (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	α (%)	macro (%)	micro (%)	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ solo)		
						60 cm	344 cm	15495 cm
0 - 3	0,80	2,47	65,57	32,67	34,90	34,90	32,82	19,91
3 - 9	1,24	2,35	47,23	10,01	37,22	37,22	31,25	21,60
9 - 20	1,24	2,47	49,79	10,56	39,23	39,23	32,94	22,77
22 - 35	1,21	2,59	53,28	11,30	41,98	41,98	35,25	24,36
43 - 56	1,50	2,62	42,75	8,94	33,81	33,81	33,42	29,86
56 - 80 ⁺	Folhelho							

TABELA 11. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO PODZÓ-
LICO VERMELHO AMARELO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTU-
RA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA
RELEVO ONDULADO EM PROFUNDIDADE (PVa-5)

11.1 GRANULOMETRIA DO SOLO (%)

Prof.	% na massa do solo			% 100 g TFSE	
	Calhaus >20 mm	Cascalho >2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm
0 - 3	0,0	0,89	20,80	41,20	38,00
6 - 12	0,0	0,31	24,10	31,90	44,00
12 - 18	0,0	1,14	18,30	43,70	38,00
25 - 31	0,0	0,09	23,00	31,00	46,00
40 - 46	0,0	2,04	19,70	34,30	46,00
65 - 71	5,08	0,56	16,90	27,10	56,00
90 - 96	0,0	0,65	14,70	33,30	52,00
105	0,0	2,02	19,90	36,10	44,00

11.2 CONSTANTES VOLUMÉTRICAS E RETENÇÃO DE ÁGUA (cm³/100 cm³ solo)

Prof.	ρ_s (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	α (%)	macro (%)	micro (%)	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ solo)		
						60 cm	344 cm	15495 cm
0 - 3	1,13	2,58	56,20	13,10	43,10	43,10	42,48	24,78
6 - 12	1,13	2,46	54,06	11,25	42,81	42,81	34,60	18,34
12 - 18	1,17	2,50	53,20	12,26	40,94	40,94	28,19	20,10
25 - 31	1,25	2,50	50,00	8,73	41,27	41,27	32,80	21,06
40 - 46	1,30	2,53	48,61	11,95	36,66	36,66	35,00	21,02
65 - 71	1,30	2,59	49,80	6,55	43,25	43,25	37,76	26,96
90 - 96	1,35	2,47	45,34	4,84	40,50	40,50	40,01	27,46
105	1,47	2,66	44,73	2,68	42,05	42,05	40,71	29,50

TABELA 12. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO
 Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE
 FLORESTA SUTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDU-
 LADO SUBSTRATO FOLHELHO (Re-4)

12.1 GRANULOMETRIA DO SOLO (%)

Prof.	% na massa do solo		% 100 g TFSE		
	Calhaus > 20 mm	Cascalho > 2 mm	Areia 2-0,05 mm	Silte 0,05-0,002 mm	Argila <0,002 mm
0 - 3	0,0	0,43	14,80	41,20	44,00
3 - 9	3,77	17,63	16,30	43,70	40,00
9 - 22	4,71	20,21	49,10	22,90	28,00
26 - 35	6,17	46,88	53,20	23,80	23,00
46 - 59	14,92	43,17	50,60	31,40	18,00

12.2 CONSTANTES VOLUMÉTRICAS E RETENÇÃO DE ÁGUA (cm³/100 cm³ solo)

Prof.	ρ_s (g/cm ³)	ρ_p (g/cm ³)	α (%)	macro (%)	micro (%)	Retenção de água (cm ³ /100 cm ³ solo)		
						60 cm	344 cm	15495 cm
0 - 3	1,30	2,50	48,00	4,85	43,15	43,15	41,36	25,87
3 - 9	1,14	2,53	54,94	12,60	42,34	42,34	38,76	25,17
9 - 22	1,28	2,61	50,95	9,83	41,12	41,12	40,84	28,58
26 - 35	1,40	2,70	48,15	7,87	40,28	40,28	38,58	31,01
46 - 59	1,55	2,68	42,16	4,16	38,00	38,00	36,65	22,43

TABELA 13. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS UNIDADES DOS SOLOS (EXTRAÍDOS DE ROCHA⁴²)

Horizonte	Espessura	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Transição	Classificação
Ca-7							
A ₁	0 - 26	7,5 YR 5/4 castanho	argilosa	blocos sub-angulares	duro	clara e plana	Cambissolo Tb álico, A moderado
A ₃	26 - 42	7,5 YR 5/4 castanho	argilosa	blocos sub-angulares	duro	clara e plana	
(B)	42 - 58	10 YR 5/8 castanho amarelado	argilosa	blocos angulares	muito duro	clara e plana	
C ₁	58 - 81	10 YR 5/8 castanho amarelado	argilosa	blocos angulares	duro	clara e plana	
C ₂	81 - 120 ⁺	7,5 YR 5/8 amarelo avermelhado	argilosa	blocos angulares	duro	clara e plana	

Obs.: Trincheira com 1,20 m; presença de mosqueamento nos horizontes C₁ e C₂; e seixos rolados no horizonte (B); atividade biológica no horizonte A₁; raízes com diâmetro de 1 mm comuns nos horizontes A₁, A₃, (B) raras nos horizontes C₁ e C₂.

Re-5

A	0 - 17	10 YR-3/1 cinzento muito escuro	franco argiloso	blocos sub-angulares	duro, firme	abrupta e irregular	Solo Litólico, Ta eutrófico A moderado
A/R	17 - 40		franco argiloso		duro, firme		

Obs.: Raízes comuns no horizonte A e A/R e presença de seixos rolados no horizonte A, atividade biológica com canais com \emptyset de 1,5 cm

Continua

TABELA 13. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS UNIDADES DOS SOLOS (EXTRAÍDOS DE ROCHA⁴²) (CONTINUAÇÃO)

Horizonte	Espessura	Cor	Textura	Estrutura	Consistência	Transição	Classificação
PVa-5							
A ₁	0 - 28	10 YR 4/3 castanho escura	argilo-siltosa	blocos sub-angulares	duro, friável	clara e plana	Podzólico Vermelho
A ₃	28 - 54	7,5 YR 5/4 castanho	argilosa	blocos sub-angulares	duro, friável	clara e plana	amarelo, Tb álico, A moderado
B ₁	54 - 76	7,5 YR 5/6 castanho forte	argilosa	blocos sub-angulares	duro, friável	clara e abrupta	
B ₂₁	76 - 100	7,5 YR 5/6 castanho avermelhado	argilosa	blocos sub-angulares/angulares	duro, friável	clara e abrupta	
B ₂₂	100 - 115	7,5 YR 6/6 amarelo avermelhado	argilosa	blocos angulares	duro, friável	abrupta	
B ₃	115 - 132	7,5 YR 6/6 amarelo avermelhado	argilosa	blocos angulares	duro, friável		
C ₁	132 - 160	7,5 YR 6/6 amarelo avermelhado	argilosa				
C ₂	160 - 180 ⁺	10 YR 6/8 amarelo acastanhado					

Obs.: Presença de carvão proveniente de queimadas nos horizontes A₁ e A₃. Muitas raízes nos horizontes A₃ e B₁, raras nos horizontes B₂₁ e B₂₂.

Re-4

A ₁	0 - 15	10 YR 4/2 castanho acinzentado-escuro	argilosa	blocos sub-angulares	ligeiramente duro; duro, muito friável		Solo Litólico Ta eutrófico A moderado
R	15 - 50 ⁺	10 YR 5/8 castanho amarelado					

Obs: Raízes comuns no horizonte A₁.

TABELA 14. DADOS ANALÍTICOS DAS UNIDADES DE SOLO ESTUDADAS EM SÍTIOS DE *Araucaria angustifolia*
(SEGUNDO ROCHA *et alii*⁴²)

Unidade	Horizonte	Prof. (cm)	pH CaCl ₂	%	ppm					emg/100 g solo			%	
					P	K	Ca + Mg	H + Al	Al	S	T	V		
Ca-7	A ₁	0 - 26	3,9	2,3	2,0	41	1,8	6,20	3,0	1,90	8,10	23,45		
	A ₃	26 - 42	3,9	1,5	1,0	19	1,8	5,91	3,5	1,85	7,76	23,84		
	(B)	42 - 58	3,9	1,0	1,0	18	1,5	5,91	3,9	1,54	7,45	20,67		
	C ₁	58 - 81	3,9	0,8	1,0	19	1,2	5,64	4,2	1,25	6,88	18,17		
	C ₂	81 - 120 ⁺	3,9	0,3	1,0	21	1,0	4,03	4,10	1,05	5,10	20,59		
Re-5	A	0 - 17	5,1	4,4	5,0	158	14,1	2,28	0,0	14,50	16,78	86,4		
	A/R	17 - 40	5,1	1,6	2,0	112	9,8	1,41	0,0	10,08	11,50	87,6		
PVa-5	A ₁	0 - 28	3,7	2,15	1,0	47	1,1	7,4	4,4	1,22	8,62	14,15		
	A ₃	28 - 54	3,8	1,4	1,0	29	1,6	6,50	4,4	1,67	8,17	20,44		
	B ₁	54 - 76	3,9	1,1	1,0	29	1,2	5,91	3,9	1,27	7,18	17,69		
	B ₂₁	76 - 100	4,0	0,6	1,0	27	1,1	3,67	3,3	1,17	4,84	24,17		
	B ₂₂	100 - 115	4,0	0,5	1,0	28	1,1	3,33	3,3	1,17	4,50	26,00		
	B ₃	115 - 132	4,0	0,2	1,0	29	1,2	3,33	3,3	1,27	4,60	27,61		
	C	132 - 160 ⁺	4,1	0,1	1,0	28	1,7	3,03	3,7	1,77	4,80	36,87		
Re-4	A	0 - 15	4,8	2,1	2,0	134	8,9	2,50	0,0	9,24	11,74	78,70		

TABELA 15. VARIAÇÃO DA UMIDADE DA UNIDADE DE SOLO CAMBISSOLO
Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORES-
TA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO
SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO (MÉDIA
DE 3 REPETIÇÕES) Ca-7

Datas	0-35	35-65	65-95	95-125
13.08.85	33,47	33,66	33,77	40,35
09.10.85	34,04	36,20	33,77	38,85
06.11.85	35,94	36,64	35,28	40,37
11.12.85	27,48	32,13	33,50	39,28
10.01.86	34,86	36,05	-	-
29.01.86	33,60	35,60	34,88	39,57
22.02.86	33,28	35,31	34,44	39,70
07.03.86	35,55	36,10	35,17	38,10
20.03.86	36,64	36,81	35,81	41,06
04.04.86	32,35	34,08	33,91	39,01
23.04.86	34,30	36,24	35,20	41,01
09.05.86	35,44	35,14	34,59	40,64
23.05.86	30,65	36,39	35,78	41,83
05.06.86	32,31	35,86	35,26	40,98
27.06.86	34,70	34,64	34,99	41,26
11.07.86	33,45	33,89	34,62	40,69
25.07.86	32,79	34,65	34,64	40,93
08.08.86	31,01	32,37	34,24	40,28

TABELA 16. VARIACÃO DA UMIDADE DA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO Ta
EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA MÉDIA FASE FLORES-
TA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ONDULADO
SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO (MÉDIA
DE 3 REPETIÇÕES) Re-5

Datas	0-35	35-65	65-95
09.10.85	27,99	35,91	-
22.10.85	28,27	35,85	-
06.11.85	30,99	35,34	-
23.11.85	25,53	35,51	-
11.12.85	22,48	34,43	-
10.01.86	28,55	36,00	-
29.01.86	27,67	36,35	-
22.02.86	28,59	36,27	-
07.03.86	27,94	37,17	-
20.03.86	30,50	37,74	44,87
04.04.86	28,03	33,87	43,94
23.04.86	31,09	36,21	43,93
09.05.86	28,66	36,12	43,82
23.05.86	31,97	38,10	44,74
05.06.86	31,78	38,39	44,05
27.06.86	27,92	36,59	44,13
11.07.86	27,23	35,84	43,58
25.07.86	26,25	35,50	43,04
08.08.86	25,81	35,12	43,17

TABELA 17. VARIAÇÃO DA UMIDADE DA UNIDADE DE SOLO PODZÓLICO VERMELHO AMARELO Tb ÁLICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO ONDULADO SUBSTRATO TILITO EM PROFUNDIDADE E NO TEMPO (MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES) PVa-5

Datas	0-35	35-65	65-95	95-125
22.10.85	26,01	36,06	34,62	40,02
06.11.85	28,39	35,08	34,51	39,68
23.11.85	27,08	32,69	33,77	38,82
11.12.85	23,26	33,09	34,03	39,19
10.01.86	29,29	42,93	37,57	41,36
29.01.86	28,39	36,49	38,71	32,22
22.02.86	30,38	29,90	36,79	41,66
07.03.86	30,19	37,19	37,85	41,86
20.03.86	30,69	37,30	38,40	42,73
04.04.96	30,75	37,35	36,35	-
23.04.86	31,82	40,25	38,42	42,19
09.05.86	29,72	37,85	37,57	-
23.05.86	32,04	38,38	38,99	-
05.06.86	31,52	37,78	38,90	-
27.06.86	29,48	36,73	37,28	40,59
11.07.86	28,09	35,77	37,29	41,05
25.07.86	27,72	42,30	37,15	40,51
08.08.86	26,53	37,96	36,87	47,17

TABELA 18. VARIAÇÃO DA UMIDADE NA UNIDADE DE SOLO LITÓLICO
 Ta EUTRÓFICO A MODERADO TEXTURA ARGILOSA FASE
 FLORESTA SUBTROPICAL PERENIFOLIA RELEVO SUAVE ON-
 DULADO SUBSTRATO FOLHELHO EM PROFUNDIDADE E NO TEM-
 PO (MÉDIA DE 3 REPETIÇÕES) Re-4

Datas	0-35	35-65
09.10.85	32,90	39,41
06.11.85	35,43	41,56
23.11.86	31,16	39,38
11.12.85	27,19	39,93
10.01.86	35,19	40,82
29.01.86	34,25	41,13
22.02.86	35,24	40,70
07.03.86	34,50	40,84
20.03.86	35,43	40,84
04.04.86	36,11	41,01
23.04.86	36,75	41,47
09.05.86	34,88	40,54
23.05.86	36,61	41,89
05.06.86	36,61	41,84
27.06.86	34,54	40,66
11.07.86	32,62	39,98
25.07.86	31,56	39,76
08.08.86	30,19	39,57

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDRAE, F. & KRAPPENBAUER, A. Pesquisas Austro-brasileiras 1973-1982 sobre *Araucaria angustifolia*, *Podocarpus lamberti* e *Eucalyptus saligna*. Santa Maria, UFSM, s.d. 112 p.
2. ARCHER, J.R. & SMITH, P.D. The relation between bulk density, available water capacity and air capacity of soils. J. Soil Sci., 23: 475-80, 1972.
3. BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. & GARDNER, W.R. Soil physics. 4.ed. New York, John Wiley, 1972. 498 p.
4. BLUM, H.E.H. Ecologia da *Araucaria angustifolia* e futuras condições de reflorestamento no sul do Brasil. Brasil Madeira, 1(6-10): 10-12, 1977.
5. CARMEAN, W.H. Black Oak site quality in relation to soil and topography in southeastern Ohio. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 29(3): 308-12, 1965.
6. _____. Soil survey refinements for predicting Black Oak site quality in southeastern Ohio. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31(6): 805-10, 1967.
7. CASSOL, C.A. Relações entre características do solo, crescimento e produtividade em povoamento implantado de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze., em Passo Fundo-RS. Santa Maria, 1982. Tese. Mestrado.
8. DE HOOGH, R.J. Pesquisas em recursos florestais do Estado do Paraná. Regeneração do Pinheiro do Paraná. Sub-programa solos-sítio e nutrição. Relatório Final. R.J., 1979. 129 p.

9. DE HOOGH, R.J. Site-nutrition-grow relationships of *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. in Southern Brazil. Freiburg, 1981. 161 p. Tese. Ph.D.
10. _____. & DIETRICH, A.B. Relações crescimento-sítio de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em povoamentos plantados. In: Silvicultura, 2(14): 34-40, 1978. (Anais do III Congresso Florestal Brasileiro, Manaus).
11. _____. & _____. Avaliação de sítio para *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em povoamento artificiais. Brasil Florestal, 37: 19-71, 1979.
12. _____.; _____. & AHRENS, S. Classificação de sítio, tabelas de volume de produção para povoamentos artificiais de *Araucaria angustifolia*. Brasil Florestal, 36: 58-82, 1978.
13. DIETRICH, A.B. Relações entre dados analíticos do solo, análise foliar e dados de crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. Curitiba, 1977. 70 p. Dissertação. Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
14. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1979.
15. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISADORES PARA A PADRONIZAÇÃO DA TERMINOLOGIA FLORESTAL. Anais. Curitiba, FUPEF, 1979.
16. FREIRE, J.C. & SCARDUA, R. Curvas características de retenção de água de um Latossolo Roxo Distrófico do Município de Lavras, Minas Gerais. R. bras. Ci.Solo, 2: 95-98, 1978.
17. FUNDAÇÃO DE PESQUISAS FLORESTAIS DO PARANÁ - FUPEF. Inventário florestal do pinheiro no sul do Brasil. Curitiba, 1978. 326 p.
18. GARDNER, W.R. Laboratory measurement of available soil water. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 35: 852, 1971.
19. _____. Availability and measurement of soil water. In: KOZLOWSKI, T.T. Water deficits and plant growth. s.l., Academic Press, 1968. v.1;p. 107-135.

20. GOLFARI, L. Coníferas aptas para repoblaciones forestales en el Estado de São Paulo. Silvicultura em São Paulo, 6:7-62, 1967.
21. _____. Coníferas para o reflorestamento nos Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Boletim Técnico IBDF, n. 1, 1971. 71 p.
22. _____. & BARRET, W.H.G. Comportamiento de las coníferas cultivadas em Puerto Piray, Misiones. IDIA. Suplemento Forestal, 4: 31-52, 1967.
23. HILLEL, D. Soil and water physical principals and process. cap. 3, 1972. p. 77.
24. _____. Soil water: content and potencial. In: _____. Fundamentals of soil physics. s.l., Academic Press, 1980. p.123-65.
25. JAMISON, V.C. Pertinent factors governing the availability of soil moisture to plants. Soil Sci., 81: 459-71, 1956.
26. JORGE, J.A. Física e manejo dos solos tropicais. Campinas, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 328 p.
27. LASSERE, S.R.; VAIRETTI, M. & LASSERE, E.N.E. Crescimento de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) O. Kuntze em distintos tipos de suelos de Puerto Piray-Misiones. IDIA. Suplemento Forestal, 7: 36-45, 1972.
28. MACHADO, S.A. & SIQUEIRA, J.D.P. Distribuição natural da *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. In: ENCONTRO DA IUFRO. Problemas florestais do gênero *Araucaria*. Curitiba, FUPEF, 1980. p.4-9.
29. MADER, D.L. Soil site productivity for natural stand of White Pine in Massachusetts. Soil Sci. Soc. Am. J., 40(1): 112-115, 1976.
30. MARLATS, R.M. El crecimiento de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze en la Provincia de Buenos Aires, Argentina. Revista Forestal Argentina, 2: 41-47, 1974.
31. MOEHRING, D.M. & RALSTON, C.W. Diameter growth of Loblolly Pine related to available soil moisture and rate of soil moisture loss. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 31(4): 560-562, 1967.

32. NEMETH, J.C. & DAVEY, C.B. Site factors and the net primary productivity of young Loblolly Pine and Slash Pine plantations. Soil Sci.Soc. Amer. Proc., 38(4-6): 968-970, 1974.
33. OLIVEIRA, L.B. Estudo físico-hídrico do solo. Caracterização completa sob o ponto de vista físico, de uma área Experimental da série Recife, localizada na Estação Experimental do Cerrado. Boletim Técnico IPEANE, n. 19, 1963.
34. OVINGTON, J.D. Studies of the development of woodland conditions under different trees. II. The forest floor. J. Ecol., 42: 71, 1954.
35. _____. Studies of the development of woodland conditions under different trees. IV. The ignition loss, water, carbon and Nitrogen content of the mineral soil. J. Ecol., 44: 171, 1958.
36. PAULA LIMA, W. Estudo de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço hídrico em plantações de eucaliptos e de *Pinus*. Piracicaba, 1975. 111 p. Tese. Mestrado. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".
37. PAULA SOUZA, M.L.; PAULA SOUZA, D.M. & LUCCHESI, L.A.C. Retenção de água em duas unidades de solo sob Floresta de *Pinus elliottii* e campo nativo. R. Set. Ci. Agr., 4(1-2): 17-22, 1982.
38. PRIMAVESI, A. Influence of soil structure on water economy. Agrochimica, 14(2-3): 115-122, 1970.
39. REEVE, M.J. SMITH, P.D. & THOMASSON, A.J. The effect of density on water retention properties of field soils. J. Soil Sci., 24(3): 335-367, 1973.
40. REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. 4.ed. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p. 160-165.
41. REISSMANN, C.B.; SANTOS FILHO, A.; ROCHA, H.O.; ZÖTTL, H.W.; BLUM, W.E.H. Crescimento e níveis de macro e micronutrientes em *Araucaria angustifolia* e *Pinus taeda* sobre solos derivados do grupo Itararé (carbonífero). Rev. Set.Ci. Agr., 9(1-2): 113-19, 1987.

42. ROCHA, H.O.; SANTOS FILHO, A.; BLUM, W.E.H.; REISSMANN, C.B.; ZÖTTL, H.W. Pedogênese de solos derivados de tilitos e folhelhos (Carbonífero) e sua distribuição na paisagem. In: INTERNATIONALE BODEN KUNDLICHE GESELLSCHAFT CONGRESS, 13., Hamburg, 1986.
43. SALTER, P.J.; BERRY, G. & WILLIAMS, J.B. The influence on the moisture characteristics of soils. III. Quantitative relationships between particle size composition and available-water capacity. J. Soil Sci., 17: 93-98, 1966.
44. SALTER, R.J. & WILLIAMS, J.B. The influence of texture on the moisture characteristics of soils. I. A critical comparison of techniques for determining the available water capacity and moisture characteristic curve of soil. J. Soil Sci., 16: 1-16, 1965.
45. SANDER, D.A. Soil properties and Siberian Elm tree growth in Nebraska wind breaks. Soil Sci., 112(5): 357-363, 1971.
46. SHARMA, M.L. & UEHARA, G. Influence of soil structure on water relations in low Humic Latosols: II. Water movement. Soil Sci. Amer. Proc., 32: 770-774, 1968.
47. SHETRON, S.G. Forest site productivity among soil taxonomic in Northern Lower Michigan. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36(2): 358-63, 1972.
48. SPEVER, S.H. & BARNES, B.V. Forest ecology. 3.ed. New York, John Wiley, 1980. p. 196-269.
49. VAN GOOR, C.P. Classificação da capacidade da terra em relação ao reflorestamento com *Pinus elliottii* Eng. var. *elliottii* e *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. m estado de São Paulo. Silvicultura em São Paulo (4): 349-66, 1965/66.
50. _____. A necessidade de classificação da terra para reflorestamento em São Paulo. Silvicultura em São Paulo, 7: 25-28, 1970.
51. VAN LEAR, H. & HOSNER, S.F. Correlation of site index and soil mapping units, poor for Yellow-Poplar in South West Virginia. J. Forestry, 65(1): 22-24, 1967.

52. VEIHMEYER, F.J. & HENDRICKSON, A.H. Soil density and root penetration. Soil Sci., 65: 487-493, 1948.
53. VETORI, L. Boletim Técnico. EMBRAPA, n. 7. 1983.
54. VISVALINGAM, M. & TAUDY, J.D. The neutron method for measuring soil moisture content. A review. J. Soil Sci., 23(4): 499-511, 1972.
55. WILDE, S.A.; COREY, R.B.; IYER, J.G.; VOIGT, G.K. Soil and plant analysis for tree culture. 5.ed. Oxford, 1979. 224 p.