

ITAMAR ANTONIO BOGNOLA

**UNIDADES DE MANEJO PARA *Pinus taeda* L. NO
PLANALTO NORTE CATARINENSE, COM BASE EM
CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO**

CURITIBA

2007

ITAMAR ANTONIO BOGNOLA

**UNIDADES DE MANEJO PARA *Pinus taeda* L. NO
PLANALTO NORTE CATARINENSE, COM BASE EM
CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Rioyei Higa

Co-Orientadores: Prof^ª Christel Lingnau
Dr. Osmir José Lavoranti
Dr. Renato Antonio Dedecek
Dr^ª Rosana Clara V. Higa

CURITIBA

2007

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias – Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal

PARECER
Defesa nº. 710

DEDICATÓRIA

*À minha amável esposa Francimar,
aos meus filhos queridos Hugo e Luana,
e aos meus pais Santin e Nilma.*

AGRADECIMENTOS

- Em primeiro lugar, a DEUS PAI.
- À UFPR, aos coordenadores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, pela excelente oportunidade deste estudo.
- À EMBRAPA, em especial ao Dr. Victor A. Hoeflich, pelo total apoio para que pudéssemos realizar este curso.
- À empresa madeireira MODO BATTISTELLA REFLORESTAMENTOS S/A – MOBASA, pelo apoio logístico e financeiro para realização dos trabalhos de campo.
- Ao professor Dr. Antônio Rioyei Higa pela amizade e oportunidade de ingressar neste Programa de Pós-graduação, além da brilhante orientação e estímulo na realização deste estudo.
- Aos Co-orientadores Prof^ª Dr^ª Christel Lingnau, Dr. Osmir J. Lavoranti, Dr. Renato A. Dedecek, Dr^ª Rosana C.V.Higa, nossa profunda gratidão.
- Ao professor *Ph.D.* Paulo Justiniano Ribeiro, pela amizade e excelente ajuda na parte geoestatística deste trabalho.
- À Eng^ª Florestal e Mestranda da UFPR Lorena Stolle, que além da grande amizade, não mediu esforços para nos auxiliar de forma brilhante nos trabalhos de geoprocessamento e geoestatística, sempre com muita disposição em todas as etapas de minha tese, nossa eterna gratidão.
- A toda equipe técnica da MOBASA, especialmente ao seu diretor Sr. Ulisses Ribas Jr, ao Sandro Basso (excelente apoio e amizade), Reinaldo Langa, Kelly Cancela, Alexandre Murilo e Adílson da Silva que não mediram esforços para nos auxiliar em nossos trabalhos.
- Ao professor Dr. Sebastião Machado que nos permitiu os primeiros conhecimentos na área de dendrometria, além da carinhosa e profunda amizade.
- Aos Eng. Flor. Rodrigo Coutinho e Anderson Bobko e aos graduandos Samuel Meier e Bruno Kanieski que além dos momentos de descontração, muito contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

- Aos amigos de pós-graduação Egon W. Wildauer, José Tarciso Fialho, Celso P. de Azevedo, Silas Mochiutti, Juliana Bittencourt, Édson A. Alves da Silva e Luciana Duque Silva pela boa convivência e amizade.
- Aos amigos pesquisadores da Embrapa Florestas, Dr. Edílson de Oliveira, Dr. Sérgio Gaiad, Dr^a Cláudia Maia, Dr. Guilherme de C. Andrade e Dr. Sérgio Ahrens, pelas excelentes sugestões e apoios para que pudéssemos alcançar com êxito nosso trabalho de tese.
- A toda equipe de campo da MOBASA, liderada por Sr. Dirceu e especialmente ao Sr. José Lucindo, nossa gratidão pelo fundamental apoio no mapeamento dos solos e coleta de amostras.
- Aos secretários Reinaldo Mendes de Souza, à D^a Cármen Daluz Ceccon e D^a Clarice Foggiatto e aos amigos Élon G. dos Santos e Jean Salu dos Santos, nossos sinceros agradecimentos.
- Ao amigo Sr. Bráulio Pscheidt, proprietário da Pousada Rural Ilha Camping, em Rio Negrinho, SC – base física de nossos trabalhos de campo –, pelos momentos de grande descontração que tanto serviram de estímulo nas horas difíceis.
- Aos meus queridos tios e irmãos, pelo apoio e incentivo em todos os momentos de minha vida. Ao meu tio Nélvio Barros de Castro “*in memoriam*” por tudo que nos fez, nunca o esquecerei.
- Aos meus queridos pais Santin e Nilma, que foram os grandes responsáveis para que nós pudéssemos chegar a este grau de estudo, o meu muito obrigado por tudo que representam para mim.
- A minha amada esposa Francimar e meus queridos filhos Hugo e Luana, pelo amor, carinho, inestimáveis apoios, incentivos e compreensão de nossas faltas em alguns momentos importantes de nossas vidas. Amo-os muito!

BIOGRAFIA DO AUTOR

ITAMAR ANTONIO BOGNOLA, filho de Santin Bognola e de Nilma de Castro Bognola, nasceu em São Simão-SP, em 18 de outubro de 1959.

Graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa (UFV) em dezembro de 1986. Em março de 1987 iniciou suas atividades em pedologia, através do acordo firmado entre prefeituras, cooperativas e usinas de açúcar e álcool da região de Governo de Assis-SP com o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC-SP), para o levantamento pedológico semidetalhado (escala 1:50.000) de uma área de 500.000 ha.

Posteriormente, no ano de 1989, ministrou aulas de manejo e conservação do solo e da água na Fundação Faculdade de Agronomia “Luiz Meneghel” em Bandeirantes-PR. Depois ingressou, por meio de concurso público, no ano de 1990, no Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS) da EMBRAPA.

No ano de 1995, concluiu o mestrado em “Solos e Nutrição de Plantas”, novamente na Universidade Federal de Viçosa.

Possuiu inúmeros trabalhos na área de solos, publicados em revistas do gênero, periódicos e Boletins Técnicos da Embrapa. Elaborou diversos mapeamentos de solos nos níveis detalhados, semidetalhados e de reconhecimentos. É co-autor do “Zoneamento Agroecológico do Estado do Tocantins (ZAE-TO), escala 1:500.000” (1999) e das recentes atualizações dos “Levantamentos de Reconhecimentos dos Solos, na escala 1:250.000, dos Estados de Santa Catarina (2004) e Paraná (2007)”.

Atualmente, na Embrapa Florestas, elabora pesquisas que integram seus conhecimentos em solos com espécies florestais comerciais, no sentido de aumentar suas produtividades sem degradar o meio ambiente.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE QUADROS	xiv
LISTA DE TABELAS	xv
RESUMO	xix
ABSTRACT	xx
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	4
1.1.1 Objetivo Geral	4
1.1.2 Objetivos Específicos	4
2 REVISÃO DE LITERATURA	5
2.1 O SETOR FLORESTAL MUNDIAL E BRASILEIRO.....	5
2.2 O GÊNERO <i>Pinus</i>	7
2.3 ESTRATIFICAÇÃO DE AMBIENTES.....	9
2.3.1 Levantamento do Meio Físico	10
2.3.2 Índice de Sítio	16
2.4 METODOLOGIAS PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO PRODUTIVAS.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA.....	34
3.1.1 Localização	34
3.1.2 Geomorfologia e Geologia	35
3.1.3 Solos	41
3.1.3.1 Análises químicas, granulométricas e físico-hídricas.....	42

3.1.4	Clima	47
3.2	OBTENÇÃO DOS DADOS E DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS	48
3.3	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	48
3.3.1	Análise de Trilha	48
3.3.2	Análise de Componentes Principais	52
3.3.3	Análise Fatorial	53
3.3.4	Análise de Agrupamento	54
3.3.5	Regressão Linear Múltipla	57
3.4	ANÁLISES GEOESTATÍSTICAS.....	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
4.1	DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS.....	62
4.2	EFEITO DAS VARIÁVEIS GRANULOMÉTRICAS E FÍSICO- HÍDRICAS DOS SOLOS SOBRE O CRESCIMENTO DE <i>P. taeda</i>	64
4.3	EFEITO DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS DOS SOLOS SOBRE O CRESCIMENTO DE <i>P. taeda</i>	76
4.4	EFEITO DAS VARIÁVEIS DE LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL SOBRE O CRESCIMENTO DE <i>P.</i> <i>taeda</i>	79
4.5	EFEITO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS SOBRE O CRESCIMENTO DE <i>P. taeda</i>	80
4.6	TÉCNICAS MULTIVARIADAS PARA SE VERIFICAR O EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO SOBRE O CRESCIMENTO DE <i>P. taeda</i>	85
4.6.1	Análises de Componentes Principais e de Fatores Entre as Variáveis do Meio Físico	85

4.6.2 Análise de Regressão por Componentes Principais e Seleção da Melhor Equação de Regressão Linear Múltipla	95
4.7 UNIDADES DE MANEJO (UM's) PARA <i>P. taeda</i>	98
4.7.1 Formação de Grupos Similares de Parcelas de Inventário Florestal	98
4.7.2 Unidades de Manejo para <i>P. taeda</i> com Base em Técnicas de Geoestatística e Geoprocessamento	109
4.7.3 Recomendações Práticas para as Unidades de Manejos Definidas	116
5 CONCLUSÕES	122
REFERÊNCIAS	124
ANEXOS	142
ANEXO 01 - MAPA PEDOLÓGICO DETALHADO DA ÁREA PILOTO Nº 1	143
ANEXO 02 - BANCO DE DADOS DENDROMÉTRICOS E DO MEIO FÍSICO COM RESULTADOS DE ANÁLISES DE SOLOS.....	145
QUADRO 1 - BANCO DE DADOS DENDROMÉTRICOS DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA.....	150
QUADRO 2 - BANCO DE DADOS DE LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA.....	151
QUADRO 3 - BANCO DE DADOS GRANULOMÉTRICOS DE SOLOS DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA.....	152
QUADRO 4 - BANCO DE DADOS QUÍMICOS DE SOLOS DA CAMADA SUPERFICIAL (0 – 20 cm), DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA.....	153
QUADRO 5 - BANCO DE DADOS QUÍMICOS DE SOLOS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (30 – 50 cm), DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA.....	154

QUADRO 6 - BANCO DE DADOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DA CAMADA SUPERFICIAL (0 – 20 cm) DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA.....	155
QUADRO 7 - BANCO DE DADOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (30 – 50 cm) DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA.....	156
ANEXO 03 - DADOS CLIMÁTICOS DAS TRÊS ÁREAS PILOTOS.....	157
QUADRO 8 - DADOS CLIMATOLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS PARA A ÁREA PILOTO Nº1, MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO E DOUTOR PEDRINHO, SC	158
QUADRO 9 - DADOS CLIMATOLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS PARA A ÁREA PILOTO Nº 2, MUNICÍPIOS DE BOCAINA DO SUL E LAGES, SC	159
QUADRO 10 - DADOS CLIMATOLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS PARA A ÁREA PILOTO Nº 3, MUNICÍPIO DE CURITIBA – PR.....	160

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SOLO COMO RESERVATÓRIO DE ÁGUA, INDICANDO AS QUATRO FAIXAS DE UMIDADE E OS SEUS LIMITES.....	14
FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO DE SEMIVARIOGRAMA TÍPICO PARA DADOS SEM TENDÊNCIA E COM RUÍDOS.....	31
FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DOS DADOS COLETADOS EM PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO EM FUNÇÃO DE VARIÁVEIS EXPLICATIVAS	35
FIGURA 4 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PILOTO Nº1 SITUADA NOS MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO E DOUTOR PEDRINHO – SC, BRASIL.....	37
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PILOTO Nº2 SITUADA NO MUNICÍPIO DE BOCAINA DO SUL – SC, BRASIL	38
FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PILOTO Nº 3, SITUADA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR, BRASIL	39
FIGURA 7 - COLETA DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS COM OS ANÉIS VOLUMÉTRICOS.....	46
FIGURA 8 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) E TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA (g kg^{-1}) NAS PROFUNDIDADES DE 5 A 10 cm E 35 A 40 cm, EM TIJUCAS DO SUL/PR E RIO NEGRINHO/SC (N=14).....	66
FIGURA 9 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE ÍNDICE DE SÍTIO (m) E ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS PROFUNDIDADES DE 5 A 10 cm E 35 A 40 cm, EM TIJUCAS DO SUL/PR E RIO NEGRINHO/SC (N=14).....	66
FIGURA 10 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE O CONTEÚDO DE ÁGUA DISPONÍVEL E O TEOR DE ARGILA NO SOLO DAS PARCELAS DE <i>P. taeda</i> , NAS PROFUNDIDADES DE 0 – 5 cm E 35 – 40 cm, RIO NEGRINHO/SC E TIJUCAS DO SUL/PR	68

FIGURA 11 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO – CONTEÚDO DE UNIDADE NA CAPACIDADE DE CAMPO (Ccampo) E NO MOMENTO DA COLETA (Ucampo) COM A MICROPOROSIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 5 A 10 cm E DE 35 A 40 cm	72
FIGURA 12 - DENDROGRAMA ILUSTRATIVO DA SIMILARIDADE ENTRE AS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO OBTIDO PELO MÉTODO DAS “DISTÂNCIAS MÉDIAS – <i>AVERAGE LINKAGE</i> ”, CONSIDERANDO AS PRINCIPAIS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS DE ONZE FATORES (BASEADOS NA ANÁLISE FATORIAL) NA ÁREA PILOTO Nº1, NA MOBASA, EM RIO NEGRINHO – SC (MUNICÍPIO 1)	101
FIGURA 13 - PERFIS DE NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico húmico, NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO - SC	104
FIGURA 14 - PERFIS DE CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico (A); CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico saprolítico (B), NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO - SC.....	104
FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS CONTÍNUOS NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO - SC	110
FIGURA 16 - SEMIVARIOGRAMA AJUSTADO PARA O ÍNDICE DE SÍTIO EM FUNÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1, CP2 E CP3)	112
FIGURA 17 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO “ÍNDICE DE SÍTIO, IS ₁₅ ” COM VALORES PREDITOS POR CO-KRIGAGEM MULTIVARIADA ORDINÁRIA UTILIZANDO-SE VARIÁVEIS FÍSICO-HÍDRICAS SELECIONADAS POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E DE FATORES NA ÁREA PILOTO Nº 1, NA MOBASA.....	114
FIGURA 18 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO “ÍNDICE DE SÍTIO, IS ₁₅ ” OBTIDO PELOS LEVANTAMENTOS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO COM O “IS ₁₅ ” PREDITO POR CO-KRIGAGEM MULTIVARIADA ORDINÁRIA UTILIZANDO-SE VARIÁVEIS FÍSICO-HÍDRICAS SELECIONADAS POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E DE FATORES NA ÁREA PILOTO Nº 1, NA MOBASA.....	115

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - ÁREAS DE FLORESTAS NATIVAS E PLANTADAS DE ALGUNS PAÍSES	6
QUADRO 2 - LEGENDA DE IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS TRÊS ÁREAS PILOTOS, PROPRIEDADES DA MOBASA – SC	43
QUADRO 3 - VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO E SEUS RESPECTIVOS SÍMBOLOS	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS DE PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO DE <i>P. taeda</i> DAS TRÊS ÁREAS PILOTOS (AP), OBJETOS DESTA ESTUDO	63
TABELA 2 - DADOS DE GRANULOMETRIA (g kg^{-1}) E MATÉRIA ORGÂNICA (g kg^{-1}) DOS SOLOS DAS PARCELAS COM ÁRVORES DE <i>P. taeda</i> CLASSIFICADOS POR ORDEM DECRESCENTE DE ÍNDICES DE SÍTIO (m), NOS MUNICÍPIOS DE TIJUCAS DO SUL/PR E RIO NEGRINHO/SC.....	65
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DOS SOLOS DAS PARCELAS, CLASSIFICADAS POR ÍNDICE DE SÍTIO (IS ₁₅) DE <i>P. taeda</i> EM ORDEM DECRESCENTE, NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, NOS MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO/SC E TIJUCAS DO SUL/PR.....	69
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DOS SOLOS DAS PARCELAS, CLASSIFICADAS POR ÍNDICE DE SÍTIO (IS ₁₅) DE <i>P. taeda</i> , EM ORDEM DECRESCENTE, NA PROFUNDIDADE DE 35 A 40 cm, NOS MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO/SC E TIJUCAS DO SUL/PR.....	70
TABELA 5 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS, ENTRE ÍNDICES DE SÍTIO (IS ₁₅) DE <i>P. taeda</i> E CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DO SOLO EM DUAS PROFUNDIDADES CONSIDERANDO OS DADOS DAS TRÊS ÁREAS PILOTOS ANALISADOS EM CONJUNTO.....	73
TABELA 6 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS, ENTRE O ÍNDICE DE SÍTIO (IS ₁₅) DE <i>P. taeda</i> E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DA CAMADA SUPERFICIAL (5 – 10 cm) DO SOLO PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS.....	74

TABELA 07 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS, ENTRE O ÍNDICE DE SÍTIO (IS ₁₅) DE <i>P. taeda</i> E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (35 – 40 cm) DO SOLO PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS.....	74
TABELA 08 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS, ENTRE ÍNDICE DE SÍTIO (IS ₁₅) PARA <i>P. taeda</i> E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA CAMADA SUPERFICIAL (0 – 20 cm) DO SOLO, CONSIDERANDO TODOS OS DADOS PADRONIZADOS E ANALISADOS EM CONJUNTO.....	77
TABELA 09 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS, ENTRE ÍNDICE DE SÍTIO (IS ₁₅) PARA <i>P. taeda</i> E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (30 – 50 cm) DO SOLO, CONSIDERANDO TODOS OS DADOS PADRONIZADOS E ANALISADOS EM CONJUNTO.....	78
TABELA 10 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS ^{1/} , ENTRE ÍNDICES DE SÍTIO (IS ₁₅) PARA <i>P. taeda</i> E PARÂMETROS DE POSIÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DA MOBASA	79
TABELA 11 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS ^{1/} , ENTRE PRODUTIVIDADE DE <i>P. taeda</i> E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DE ESTUDO.....	81
TABELA 12 - MATRIZ DE CORRELAÇÕES, R, ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DO PRESENTE ESTUDO	83
TABELA 13 - AUTOVALORES (λ) DAS DEZ COMPONENTES PRINCIPAIS RETIDAS, EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO, R, DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS AVALIADAS, PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ASSOCIADAS DO PRIMEIRO AO TERCEIRO FATOR, E PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ACUMULADAS.....	84

TABELA 14 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DO PRESENTE ESTUDO	84
TABELA 15 - AUTOVALORES (λ) DAS ONZE COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO, R, DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS, PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ASSOCIADAS DO PRIMEIRO AO DÉCIMO PRIMEIRO FATOR, E PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ACUMULADAS	86
TABELA 16 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DE ESTUDOS NA MOBASA	88
TABELA 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO MÚLTIPLA DO ESTÁGIO Nº 19 DO MÉTODO PASSO A PASSO, PARA O CONJUNTO DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES DO PRESENTE ESTUDO	95
TABELA 18 - COEFICIENTES DO MODELO DE REGRESSÃO DOS FATORES DO MEIO FÍSICO ATRAVÉS DO MÉTODO PASSO A PASSO (<i>STPEWISE</i>) NA ÁREA PILOTO Nº 1 DA MOBASA	96
TABELA 19 - DISTÂNCIAS GENERALIZADAS DE MAHALANOBIS (D^2) ENTRE PARES DE PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO (P) DENTRO DE CADA FAZENDA (F), DA ÁREA PILOTO Nº 1 DA MOBASA, MUNICÍPIO DE RIO NEGRINHO, SC	100
TABELA 20 - AGRUPAMENTO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO, OBTIDO PELO MÉTODO DAS “DISTÂNCIAS MÉDIAS” NA ÁREA PILOTO Nº1, NA MOBASA, EM RIO NEGRINHO – SC (MUNICÍPIO 1)	105
TABELA 21 - CORRESPONDÊNCIAS DOS GRUPOS DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO COM AS CLASSES DE SOLOS, NA ÁREA PILOTO Nº1, NA MOBASA, EM RIO NEGRINHO – SC (MUNICÍPIO 1)	106

TABELA 22 - AUTOVALORES (λ) DE CINCO COMPONENTES PRINCIPAIS (CP) EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) OBTIDAS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA, PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ASSOCIADAS DO PRIMEIRO AO QUINTO COMPONENTE PRINCIPAL, E PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ACUMULADAS	111
TABELA 23 - ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS “EFEITO PEPITA (τ^2), VARIAÇÃO ESTRUTURADA (σ^2), PATAMAR ($\tau^2 + \sigma^2$), ALCANCE (\emptyset) E RELAÇÃO VARIAÇÃO ESTRUTURADA/PATAMAR (DE%) DO MODELO EXPONENCIAL AJUSTADO À ESTRUTURA DE CORRELAÇÃO ESPACIAL DA VARIÁVEL “ IS_15” EM FUNÇÃO DE TRÊS COMPONENTES PRINCIPAIS	112
TABELA 24 - DADOS MÉDIOS, POR UNIDADES DE MANEJO, DOS PARÂMETROS DO MEIO FÍSICO UTILIZADOS COMO VARIÁVEIS EXPLICATIVAS NA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA, PARA A ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE SÍTIO (IS_15) PARA <i>P. taeda</i> , NA ÁREA PILOTO Nº 1 DA MOBASA	119

RESUMO

Pinus taeda Linnaeus é a espécie florestal mais plantada nos planaltos da Região Sul do País, não só por ter rápido crescimento e produzir importante matéria prima para o setor industrial florestal brasileiro, mas também por ter grande produtividade nas condições edafoclimáticas regionais, tais como: frios intensos (baixas temperaturas e grande ocorrência de geadas), solos ácidos e muito pobres em nutrientes, além dos relevos acidentados em que ocorrem. Essa região apresenta um quadro ecológico de nítidos e variados contrastes fisiográficos, sendo constituída por um mosaico de ambientes com importantes diferenciações do meio físico. No entanto, há poucos trabalhos sobre a avaliação da qualidade do ambiente, muito embora sejam fundamentais para a formulação de propostas de manejo florestal mais adequado. Desta forma, esta pesquisa teve o propósito de avaliar os fatores do meio físico que afetam o crescimento de plantações comerciais estabelecidas com *P. taeda*, em diferentes sítios, para definição de unidades de manejo através de dois métodos: a) pela estatística multivariada, via análise de agrupamento; e b) pela geoestatística, via co-krigagem ordinária multivariada. Duas áreas-piloto, localizadas no Planalto Norte do Estado de Santa Catarina, e uma no Sudeste do Estado do Paraná, foram escolhidas para o desenvolvimento dos trabalhos. Os dados do meio físico foram obtidos de um mapeamento pedológico detalhado, na escala 1:10.000. Os dados dendrométricos foram coletados em parcelas de inventário florestal contínuo, obtidos de povoamentos com 11 a 15 anos de idade. Nesse contexto, assume importante papel a “silvicultura de precisão”, que se fundamenta no processamento de dados georreferenciados e sistematicamente coletados, com o propósito de elevar a produtividade de madeira após a identificação de “Unidades de Manejo” definidas de acordo com suas potencialidades e limitações. Os resultados revelam a grande influência das características físico-hídricas dos solos, as quais foram apontadas como as propriedades mais importantes na produtividade do *P. taeda*. Os resultados obtidos com o primeiro método mostraram que o agrupamento das parcelas homogêneas de inventário florestal contínuo não teve boa correlação com as classes de solos até o quarto nível categórico do novo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), demonstrando necessidade de avanços na definição dos 5º e 6º níveis para sua melhor aplicação no segmento florestal como um todo. O segundo método fez o uso de técnica multivariada integrada com geoprocessamento, gerando estimativas de produtividade do *P. taeda* mais precisas, com erros quadrados médios inferiores a 0,40. Também ficou evidente a importância de se aliar técnicas multivariadas com geoestatística e geoprocessamento na definição das “Unidades de Manejo” para o *P. taeda*.

Palavras-chave: Solos florestais; estatística multivariada; geoestatística; crescimento e produção.

ABSTRACT

Because of the high rate of growth and due to its importance as a source of raw material for forest industries, *Pinus taeda* Linnaeus (loblolly pine) is a species largely used for the establishment of planted forests in the plateaus in southern Brasil. Another reason for that is the high timber yield of the species under the regional climate and soil characteristics such as severe cold (low temperatures and occurrence of frosts), acid and poor soils as well as the steepness of the terrain. The region can be described as a mosaic of several strata with important fisiographic differences. However, studies have not been carried out on the evaluation of environmental characteristics which are essential for the formulation of plantation management alternatives. For that reason, this research was developed in order to evaluate physical factors that affect the growth of commercial plantations established with loblolly pine in different site conditions. In this study, data sets were compared for the definition of management units by using two methods: a) cluster analysis (a multivariate technique); and, b) multivariate ordinary cokriging (a geostatistics technique). Three research areas were chosen for the study: two in the northern part of the State of Santa Catarina and one in the southeastern region of the State of Paraná, Brasil. Data on the physical environment were obtained from a detailed soil map (scale 1:10.000). Tree measurements were collected in permanent sample plots established in stands aged from 11 to 15 years. In these circumstances “precision forestry”, founded in the processing of georeferenced data systematically collected, was used in order to improve timber yield through the identification of management units defined according to their potentialities and limitations. Results have shown the great influence of the hydric characteristics of the soil considered to be the most important factor influencing timber yield. Results obtained with the first method have shown that clustering CFI homogeneous plots presented inadequate correlation with soil classes up to the fourth categoric level of the new Brazilian System of Soil Classification (SiBCS). There is a need to promote advancements in the definitions at the fifth and sixth levels of that system so that it could be more adequately applied to forestry. The second method uses multivariate techniques integrated with geoprocessing and provided precise yield estimates, with mean square deviations of 0.4. Results obtained have also shown the importance of using multivariate techniques together with geostatistics and geographic data processing for the definition of “Management Units” for loblolly pine.

Key words: forest soils; multivariate statistical methods; geostatistics; growth and yield.

1 INTRODUÇÃO

Pinus taeda Linnaeus é a espécie florestal mais plantada nos planaltos da Região Sul do País, não só por ter rápido crescimento e ser importante matéria prima para o setor industrial florestal brasileiro, mas também por ter grande produtividade nas condições ambientais da região, tais como: frios intensos (baixas temperaturas e grande ocorrência de geadas), solos ácidos e muito pobres em nutrientes, além dos relevos acidentados em que ocorrem. Mas, essa característica de “boa” produtividade na região, precisa ser mais bem avaliada e entendida. Nesse contexto, o uso de técnicas avançadas de estatísticas multivariadas e geoestatísticas, podem ser de grande utilidade para a definição de “Unidades de Manejo” para a espécie em estudo, as quais consideram em seu escopo, a racionalização dos recursos florestais, de modo a permitir a perpetuação da maximização do potencial produtivo, levando em consideração o meio biótico e abiótico, suas inter-relações, além de aspectos de sustentabilidade econômica e social do empreendimento florestal.

A Região Sul do Brasil apresenta um quadro ecológico de nítidos e variados contrastes fisiográficos, constituindo-se um mosaico de ambientes com diferenciações de clima, solos, vegetação natural e usos. No entanto, há poucos trabalhos sobre a avaliação da qualidade do ambiente, fundamentais na formulação de propostas de manejos florestais mais adequados para o planejamento de uso sustentado das terras, e nas predições sobre o potencial produtivo de uma dada espécie em determinado local. A atividade de reflorestamento, mais especificamente o plantio de pinus, está como qualquer outra atividade agrícola, intimamente relacionada com os componentes ecológicos: solo-clima, organismos e sócio-economia, que mantêm uma estreita dinâmica de inter-relações de dependência (RIGATTO et al., 2005). Além disso, as empresas florestais necessitam aumentar a produtividade das essências florestais para viabilizar o agronegócio bem como de dados de suas produtividades bem antes da realização dos cortes. Daí a importância

que teriam os técnicos responsáveis pelo planejamento e pela implantação dos povoamentos florestais de pinus, por exemplo, numa determinada região, ao executarem a identificação e a separação dos diferentes ambientes, considerarem a interação dos fatores edafo-climáticos com os fatores biofísicos, pois isso subsidiaria melhor não só a predição de produtividades como também a definição de técnicas e de espécies e procedências adequadas a cada ecossistema.

A capacidade de um sítio florestal, para determinado local, pode ser avaliada através da medição de fatores intrínsecos ou extrínsecos à biomassa florestal. Ortega e Monteiro (1988) destacaram como fatores intrínsecos, a altura dominante ou média, o crescimento máximo e o volume total no final da rotação. Como fatores extrínsecos do biótipo: o clima, a litologia, a edafologia e a morfologia; e da biocenose: espécies indicadoras (sociologia) e associações indicadoras (fitossociologia). Essa capacidade produtiva depende, portanto, fundamentalmente, das condições do meio ambiente. A classe de solos agrega importantes informações, destacando-se a profundidade efetiva, a classe textural, os níveis de nutrientes, o teor de matéria orgânica, a atividade química da fração coloidal e a presença de camadas compactadas que poderiam restringir o crescimento das raízes e a percolação de água (RIGATTO et al., 2005). No entanto, são escassos os trabalhos que procuram analisar estas características em conjunto e as suas correlações com os diferentes ecossistemas e as interações com os sítios e espécies de pinus.

Dentro deste contexto, a avaliação das potencialidades e dos fatores limitantes, no processo de determinação de qualidade de ambientes, para predições da capacidade produtiva do sítio florestal, não se baseia em atributos isolados, mas em uma síntese de qualidades e limitações do ecossistema. Assim, em vez de se utilizarem apenas atributos como: textura, declividade, profundidade dos solos etc., já se interpreta a influência dessas propriedades e de outros atributos identificadores de ambientes em termos de qualidade ou de previsão de potencialidade dos sítios florestais em locais distintos e sob diferentes práticas de manejo (ORTEGA e MONTEIRO, 1988; CARMO; RESENDE e SILVA, 1990; RIGATTO et al., 2005).

É necessário, no entanto, que os técnicos transformem as características observadas e ou analisadas em avaliações qualitativas, sistematizando-as, para que se possa prever o comportamento da espécie florestal em questão, frente a algum fator ou conjunto de fatores ambientais. Desse modo, observa-se que, quando as características físicas, químicas e físico-hídricas do solo, a geologia, o relevo, o clima etc., são analisadas em conjunto e correlacionadas com os diferentes ambientes, a visualização, bem como a ordem de influência dessas variáveis, é bem mais clara (TER BRAAK, 1986; TER BRAAK et al., 1987; KENT e COKER, 1992; Van DEN BERG, 1995; SOUZA, 1996; RIGATTO et al., 2005).

Assim, procurou-se estudar a capacidade de crescimento do pinus dentro dos plantios comerciais, através da estruturação de um banco de dados do meio físico, capaz de integrar as informações numéricas e espaciais, por meio de técnicas estatísticas multivariadas e de geoestatísticas. Ainda, procurou-se correlacionar os dados do meio abiótico com o histórico de produtividade dos plantios florestais para validação da espacialização, das unidades de manejo para *P. taeda*, num sistema de informações geográficas (SIG), nas regiões planálticas do norte do Estado de Santa Catarina, constituindo um subsídio relevante para o planejamento de uso sustentado das terras.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Estudar os fatores do meio físico que afetam o crescimento de *P. taeda*, estabelecidos em ambientes distintos dentro de plantações comerciais, para determinação de unidades de manejo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar o meio físico (clima, solo, relevo e geologia) e correlacioná-los com dados de mensuração da planta (histórico de produtividades de parcelas de inventários florestais contínuos de *P. taeda*);
- ✓ Correlacionar o crescimento de *P. taeda* com o ambiente em que ele se encontra, através de técnicas estatísticas multivariadas, geoestatísticas e geoprocessamento, visando agrupar e espacializar parcelas de inventário florestal em unidades de manejo produtivas (UM's).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O SETOR FLORESTAL MUNDIAL E BRASILEIRO

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e a Alimentação - FAO (2006) -, no mundo, as plantações florestais para os usos industriais, ocupam aproximadamente 187,5 milhões de hectares (Quadro 1). Desse total, 5,45 milhões de hectares, encontram-se no Brasil, ou seja, dos 8,5 milhões de quilômetros quadrados do território brasileiro, aproximadamente 63,7% é coberto por florestas nativas, 23,2% ocupados por pastagens, 6,8% agricultura, 4,8% pelas redes de infra-estrutura e áreas urbanas, 0,9% culturas permanentes e apenas 0,6% abrigam florestas plantadas (ABRAF, 2005).

Como em outros países com economias voltadas para a produção primária de *commodities* baseado em recursos naturais, as florestas brasileiras têm sido intensamente exploradas ao longo da história e continuam a oferecer novas oportunidades para a expansão econômica (GONÇALVES, 2005). O setor florestal brasileiro contribui com uma parcela importante para a economia brasileira, gerando produtos para consumo direto ou para exportação, impostos e emprego para a população e, ainda, atuando na conservação e preservação dos recursos naturais (LADEIRA, 2002). De acordo com a classificação do Programa Nacional de Florestas (PNF) do Ministério do Meio Ambiente, oito cadeias produtivas exploram o patrimônio florestal: chapas e compensados, óleos e resinas; fármacos; cosméticos; alimentos; carvão, lenha e energia; papel e celulose; madeira e móveis.

Segundo o CEPEA-USP/CNA (2006), o PIB Florestal respondeu por 4,1% do PIB nacional, perfazendo um total US\$ 21 bilhões anuais em 2005, com destaque em três setores: celulose e papel (US\$ 7 bilhões), madeira e móveis (US\$9,3 bilhões) e siderurgia a carvão vegetal (US\$ 4,2 bilhões). Com relação à exportação, o setor teve participação com cerca de 10% do valor total, contribuindo com 5,8 bilhões de dólares no ano de 2005 (CEPEA-USP/CNA, 2006).

QUADRO 1 - ÁREAS DE FLORESTAS NATIVAS E PLANTADAS DE ALGUNS PAÍSES

País	Extensão geográfica (km²)	Área Florestas (km²)	% Florestas	Área Plantações Florestais (km²)	% Plantações Florestais
Rússia	16.888.510	8.513.920	50,4	173.400	2,0
Brasil	8.456.510	5.439.050	64,3	54.490	0,6
Canadá	9.220.970	2.445.710	26,5	65.110	2,7
EUA	9.158.950	2.259.330	24,7	162.380	7,2
China	9.327.430	1.634.800	17,5	450.830	27,6
Índia	2.973.190	641.130	21,6	325.780	50,8
Japão	376.520	240.810	64,0	106.820	44,4
Finlândia	304.590	219.350	72,0	30.930	14,1
Chile	748.810	155.360	20,7	20.170	13,0
N. Zelândia	267.990	79.460	29,7	15.420	19,4
Outros	72.915.530	17.065.630	23,4	470.190	2,8
TOTAL	130.639.000	38.694.550	29,6	1.875.520	4,8

Fontes: FAO (2006); ABRAF (2005)

Dado ao saldo inexpressivo de importações do setor, a economia florestal tem sido, historicamente, responsável por um dos cinco maiores saldos comerciais positivos do país. Quanto à geração de empregos é responsável por 9% da população economicamente ativa (sete milhões de pessoas). Em reunião entre o presidente do Banco Nacional do Desenvolvimento Social (BNDES) e empresários do setor de papel e celulose, foi discutido que o crescimento deste segmento deve ser, em média, de 17% ao ano, no período de 2007 a 2010 em relação aos anos de 2002 a 2005, o que equivale a investimentos da ordem de R\$ 20 bilhões. Destes, R\$ 11,7 bilhões serão financiados pelo BNDES, estimulando o desenvolvimento do setor (AGÊNCIA O GLOBO, 2006).

2.2 O GÊNERO *Pinus*

Na era paleozóica originaram-se as coníferas, incluindo-se a família *Pinaceae* e o gênero *Pinus* que colonizou, naturalmente, grande parte do Hemisfério Norte, incluindo os continentes da América do Norte, Europa e Ásia, chegando algumas das 105 espécies a atravessar o equador (RICHARDSON e RUNDEL, 1998). Segundo estes mesmos autores, a família *Pinaceae* é a maior e mais importante da ordem *Coniferae*, abrangendo nove gêneros e duzentas e dez espécies. O gênero *Pinus* (originário da América do Norte) é o que mais se destaca nessa ordem, abrangendo muitas espécies amplamente distribuídas pelo hemisfério Norte até os países tropicais e subtropicais nas Índias Ocidentais, Arquipélago das Filipinas, Antilhas, Ilhas Bahamas, México, Guatemala, Honduras, Nicarágua, com maior ocorrência nos climas temperados, mas sem ultrapassar o Equador. O gênero *Pinus* compõe-se de grande número de espécies, as quais apresentam dispersão natural em um número igualmente variado de *habitats*.

O gênero *Pinus* tem-se adaptado em diversas condições, desde os *habitats* da floresta boreal, com invernos rigorosos de sete a nove meses de duração, como há crescimento de algumas espécies em solos com baixíssimos teores de nutrientes, em mosaicos de solos pantanosos e ou arenosos em situações de alta aridez, bem como ocorrem espécies em solos bastante rasos sobre relevos montanhosos (RICHARDSON e RUNDEL, 1998).

No entanto, para a espécie *P. taeda*, o clima da maioria das formações naturais, presente nos EUA, é úmido com temperaturas variando de quentes a amenas, verões longos e quentes e invernos intermediários. A precipitação média anual varia de 1.020 a 1.520 mm. O período livre de geadas varia de cinco meses, na região norte, a dez meses, na região costeira, no sudeste. A temperatura média anual varia de 13° a 24° C e a temperatura média do mês mais quente (julho) é de 27° C. A temperatura média do mês mais frio (janeiro) é de 4° a 16° C, podendo cair a -23° C no norte e a oeste de sua área de ocorrência. Ocasionalmente ocorrem muitos dias de chuva com mais de 13 mm

ao dia e temperaturas altas no inverno. O principal fator que limita a ocorrência da espécie ao norte é, provavelmente, as baixas temperaturas no inverno, associados a danos causados pela neve, gelo e ainda pelo frio durante o período de florescimento da espécie. A falta de uma quantidade adequada de chuva no período de crescimento é uma das causas que limita a ocorrência natural da espécie na região oeste, nos estados de Oklahoma e Texas (BAKER e LANGDON, 1990).

No Brasil, os primeiros plantios comerciais em largas escalas com *P. taeda* iniciaram-se por volta da década de 60. Inicialmente pouco tecnificada, a cultura do pinus ganhou grande impulso nas décadas de 70 e 80, devido aos incentivos fiscais. Os plantios iniciais, feitos com semente sem controle de qualidade (normalmente coletadas de povoamentos de baixa qualidade nas origens) resultavam em povoamentos de má qualidade de fuste e ramos, apesar do vigor da alta produção de biomassa lenhosa. Dentre as espécies de *Pinus* plantadas na Região Sudeste do país, o *P. taeda* L., conhecido como “Loblolly pine”, “Arkansas pine” e “North Caroline pine”, onde “Linnaeus” deu à espécie o nome “taeda”, a qual tem sua denominação antiga para pinheiros resinosos (BAKER e LANGDON, 1990), é uma das preferidas pelos seus menores teores de resina.

Devido às condições climáticas, à sua ampla capacidade de adaptação, à sua diversidade de uso e ao seu rápido crescimento (florescem com idades entre seis a sete anos e atingem idade de corte com 16 a 17 anos), o *P. taeda* tem sido uma das espécies preferidas para plantios em reflorestamentos comerciais nos Planaltos da Região Sul do Brasil, abrangendo aproximadamente um milhão de hectares, pelas seguintes características: a) madeira de cor clara, variando de branca a amarelada; b) madeira de fibra longa, apropriada para fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de imprensa e outros tipos de papéis; e c) rusticidade e tolerância, possibilitando o plantio em solos marginais para agricultura e, assim, agregar valor a terra com a produção adicional de madeira, formação de cobertura protetora do solo e reconstituição de ambientes propícios à recomposição espontânea da vegetação nativa em locais degradados (SHIMIZU e MEDRADO, 2006).

A floresta de pinus é diferenciada pelo seu “multi-uso” porque, após o corte, sua madeira pode ser destinada à indústria laminadora, que a utiliza para fabricação de compensados; para a indústria de serrados, que a transforma em madeira beneficiada ou é convertida em móveis; para a indústria de papel e celulose; para a indústria de MDF e, mesmo o seu resíduo, tem sido aproveitado como biomassa para geração de vapor e energia (CARGNIN, 2005).

Por outro lado, nas condições brasileiras, o *P. taeda* se adaptou a solos ácidos, que constituem a maioria dos solos dos Planaltos do Sul do País, permitindo a implantação de extensas áreas que, juntamente com a adoção de práticas silviculturais adequadas, tornou esta espécie importante fonte de matéria-prima, proveniente de plantações florestais estabelecidas dentro dos padrões de sustentabilidade (KRONKA et al., 2005). *P. taeda* não cresce bem, entretanto, em locais encharcados ou alagados, assim como em áreas com solos muito rasos ou erodidos. Na Planície Costeira Atlântica dos EUA, a produtividade geralmente decresce quanto mais superficial seja o lençol freático (RICHARDSON e RUNDEL, 1998).

2.3 ESTRATIFICAÇÃO DE AMBIENTES

Uma característica marcante em área reflorestada é a sua aparente homogeneidade, contudo, é freqüente a observação de variações significativas ao longo do plantio. Estas variações podem ser devido a vários fatores, dentre eles: solo, topografia, variações na prática silvicultural de plantio e outros (MELLO, 2004). O conhecimento dessas variações é importante para o inventário e o manejo florestal. A dinâmica de vida das florestas sofre mudanças rapidamente devido a fatores que mudam constantemente no espaço e no tempo. Toda esta dinâmica deve ser acompanhada por meio de técnicas de amostragem que sejam eficientes na representação do estado atual e temporal da floresta, a fim de gerar informações precisas e com menor custo possível, para subsidiar as ações de manejo e planejamento florestal.

A prática de uma silvicultura moderna requer, ainda, um adequado aproveitamento da terra, o que implica na utilização de cada gleba, de acordo com a sua capacidade de sustentação, manejo e produtividade econômica. Terra não significa somente o solo como base de sustentação do ambiente, mas também todos os demais elementos e fatores ambientais que influenciam na manutenção do ecossistema (LEPSCH et al., 1991; RAMALHO FILHO e BEEK, 1995).

2.3.1 Levantamento do Meio físico

O crescimento e a produtividade, no caso de florestas plantadas, estão na dependência de respostas fisiológicas à interação de fatores biofísicos e abióticos do meio ambiente. Clima, fisiografia e solos são os fatores do meio físico que mais afetam a capacidade produtiva de uma floresta em um determinado local (CARMO; RESENDE e SILVA, 1990).

Segundo Resende; Lani e Rezende (2002), em nível de aplicação não valem as generalizações sobre os ambientes; há que se ter informações mais detalhadas, como as utilizadas pelos produtores. Eles identificam a potencialidade das áreas, tomam decisões do que e quando plantar, avaliando, ainda que empiricamente, as qualidades e limitações dos ambientes de sua propriedade. Os critérios utilizados por eles, frutos da observação do dia a dia, funcionam como indicadores do ambiente, em detalhe, apropriados às decisões relativas às suas atividades. Isso é como se fosse uma cultura local. Assim os ecossistemas se prendem a dois elos: 1) estão num contexto que abrange uma grande região; ou 2) às peculiaridades locais de escala maior de difícil representação e mesmo mapeamento, mas reconhecíveis pelo produtor em nível local. Há entre esses dois extremos, peculiaridades no âmbito municipal, regional ou estadual.

Dentro desse contexto, os levantamentos de solos, que nos últimos anos têm recebido maiores ênfases, constituem as mais detalhadas estratificações do ambiente (RESENDE e REZENDE, 1983; RESENDE; LANI e REZENDE, 2002). É, por exemplo, a única estratificação que contempla os nutrientes que interessam às plantas; e de horizontes ou camadas subsuperficiais que dificultam ou facilitam a

vida delas. Os levantamentos pedológicos semidetalhados e ou detalhados começam a serem utilizados para correlacionar classes de solos com crescimento de espécies florestais, sendo que até o presente momento, poucos trabalhos são conhecidos no país sobre o tema.

Ainda, a qualidade do solo é o vínculo mais importante entre o sistema de produção e a sustentabilidade das atividades agrícola e florestal. Ela deve ser considerada como composta de suas propriedades físicas, físico-hídricas, químicas e biológicas (GONÇALVES, DEMATTÊ e COUTO, 1990), de modo que permitam: a) meios para o desenvolvimento das plantas; b) regular a distribuição da água no meio ambiente; c) funcionar como um tampão ambiental na formação, atenuação, e degradação de compostos danosos ao meio ambiente.

Quanto aos solos, o gênero *Pinus* é conhecido pela sua baixa exigência nutricional. São encontradas espécies crescendo em sítios extremamente pobres, nos quais, apesar da expectativa de produção estar aquém do satisfatório, os pinus têm revelado uma capacidade extraordinária de gerenciamento dos poucos recursos nutricionais. A qualidade do solo é o vínculo mais importante entre o sistema de produção e a sustentabilidade das atividades agrícola e florestal. Ela deve ser considerada como composta de suas propriedades físicas, químicas e biológicas, de modo que permitam: a) meios para o desenvolvimento das plantas; b) regular a distribuição da água no meio ambiente; c) funcionar como um tampão ambiental na formação, atenuação, e degradação de compostos danosos ao meio ambiente.

Se o solo fica degradado, mais recursos em termos de tempo, dinheiro, energia, e agroquímicos vão ser necessários para produzir em menor quantidade e de pior qualidade, e os objetivos da sustentabilidade não serão alcançados. Por outro lado, se a degradação do solo é revertida e a qualidade do solo é mantida ou melhorada, pela utilização de métodos adequados, a sustentabilidade da agricultura pode ser uma realidade (ACTON e GREGORICH, 1995). Portanto, a qualidade do solo é um componente crítico de uma silvicultura sustentável, e um sistema de produção pode ser sustentável apenas quando a qualidade do solo é mantida ou melhorada (SANTANA e BAHIA FILHO, 1998).

Por outro lado, os trabalhos relacionados com a carência nutricional em pinus no Brasil são bastante raros. Segundo Reissmann e Wisniewsky (2001), tal fato se deve principalmente à rapidez de crescimento e à ausência de sintomas de deficiência, especialmente durante as primeiras rotações, reforçando a expectativa de que o pinus, de modo geral, dispensa grandes cuidados com adubações, ou ainda que estas sejam totalmente dispensáveis.

O uso de características físicas e químicas do solo para prever a produtividade de pinus foi estudado por Turvey; Rudra e Turner (1986). A profundidade do solo apresentou correlação positiva e a porcentagem de areia correlacionou-se negativamente com variáveis de produção.

Willians et al. (1983) examinaram a importância relativa da textura, estrutura, matéria orgânica e mineralogia das argilas nas características de umidade para diversos solos da Austrália, usando a classificação numérica e métodos diagnósticos.

Agrupando e classificando as características de umidade do solo e caracterizando os grupos em termos das propriedades dos solos, concluíram que era possível desenvolver modelos preditivos simples. Carvalho; Menegol e Oliveira (1999) estudando de forma integrada, através de técnicas estatísticas multivariadas como a “Análise de Componentes Principais - ACP”, a influência das características do solo no crescimento e produção de *P. taeda*, concluíram que o teor de argila do solo foi determinante para estabelecer as classes de sítios.

Em regiões tropicais e subtropicais como as do nosso país, onde radiação e temperatura geralmente não são limitantes, a sustentabilidade da produção é primariamente dependente da manutenção dos fluxos de água e nutrientes em níveis adequados à satisfação das respectivas demandas pelas árvores. Esses fluxos são função dos compartimentos (“pools”) de nutrientes – a biomassa aérea das árvores, a manta florestal, a biomassa das raízes e o solo (POGGIANI e SCHUMACKER, 2000) –, de condições do solo (umidade, densidade, propriedades físico-químicas), e da transpiração e crescimento das plantas.

Com relação à manutenção dos fluxos de água às plantas, cabe ressaltar a importância das características físico-hídricas. A armazenagem de água pelo solo e a disponibilidade desta água para as plantas são funções de processos dinâmicos, tais como: infiltração, redistribuição, drenagem e absorção de água pelas raízes das plantas. A relação entre a armazenagem de água no solo e a produtividade das plantas tem sido objeto de inúmeros estudos, como por exemplo, no Brasil, os de Fiorin et al. (1993).

A relação entre a armazenagem de água no solo e a produtividade das plantas têm sido objetos de inúmeros estudos, como por exemplo, recentemente no Brasil, os de FIORIN et al. (1997). Uma revisão relacionada com o assunto encontra-se em CARLESSO (1995). Qualquer movimento de água na forma líquida na escala de poros do solo é relativamente lento, laminar e, portanto, regido pela lei de Poiseuille, com viscosidade da água como fator empírico (JONG VAN LIER, 2000).

À escala do solo, onde existe uma gama enorme de diâmetros e comprimentos de poros e conexões, o movimento é descrito pela lei de Darcy-Buckingham. Segundo esta lei, a densidade de fluxo de água no solo é igual ao produto do gradiente de potencial total e à condutividade hidráulica. A condutividade hidráulica tem uma influência muito grande sobre a disponibilidade da água no solo (HILL et al., 1985). Considerando a relação que existe entre a umidade do solo, sua condutividade hidráulica e o potencial matricial da água nele contida, quatro faixas de umidade do solo relacionadas com o crescimento vegetal podem ser definidas (Figura 1).

Faixa 1: Solo muito úmido

A condutividade hidráulica está alta e, em consequência, a água desloca-se com facilidade até às raízes, disponibilizando-se para as plantas. Por outro lado, a alta condutividade hidráulica faz com que parte considerável da água drene em pouco tempo para baixo, no perfil de solo, ficando longe das principais raízes, indisponibilizando-se para as plantas.

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO SOLO COMO RESERVATÓRIO DE ÁGUA, INDICANDO AS QUATRO FAIXAS DE UMIDADE E OS SEUS LIMITES. (Fonte: JONG VAN LIER, 2000).



Faixa 2: Solo úmido

A condutividade hidráulica já não permite que o processo de drenagem ocorra muito rapidamente, mas ainda é suficientemente alta para que a extração de água pelas raízes possa ocorrer à velocidade que acompanha a transpiração potencial. Nesta condição, a água encontra-se disponível às plantas.

Faixa 3: Solo seco

A condutividade hidráulica torna-se limitante no processo de extração de água pela planta. A planta fecha estômatos para reduzir o fluxo de água e evitar o murchamento. Em consequência, decresce também a quantidade de gás carbônico que entra na planta pelo caminho inverso, bem como a absorção de água e nutrientes pelas raízes. Nestas condições, a taxa fotossintética, respiratória e, enfim, o crescimento da planta não se realizam às taxas máximas e a quantidade de água disponível à planta torna-se o fator limitante ao seu crescimento, conforme demonstraram COSTA et al. (1997). A água está, nestas circunstâncias, disponível às plantas, porém a taxa de extração da água do solo está inferior à demanda atmosférica.

Faixa 4: Solo muito seco

A condutividade hidráulica do solo é muito baixa. Gradientes muito altos de potencial são necessários para a planta extrair água, resultando em sucções insuportáveis pelo tecido vegetal. A água no solo está, nesta condição, indisponível pela baixa condutividade hidráulica do solo e, a planta não sobrevive por muito tempo nessas condições.

Dentro desse contexto, entre os índices da qualidade físico-hídrica do solo, a capacidade de água disponível talvez seja a mais antiga e mais utilizada e é definida como o produto da profundidade efetiva do sistema radicular e da diferença entre a umidade na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente. Tem-se, portanto, a unidade de comprimento (m, mm ou cm) e representa a altura da lâmina de água disponível que o solo retém até à profundidade efetiva do sistema radicular (JONG VAN LIER, 2000).

De acordo com o esperado, vários trabalhos, como os de ZUR et al. (1982), HULUGALLE e WILLATT (1983); HAINSWORTH e AYLMOORE (1986, 1989); TARDIEU et al. (1992) e JONG VAN LIER e LIBARDI (1997), indicaram que um valor limitante de condutividade hidráulica, associado a um potencial mátrico ou uma umidade, seria melhor indicador da qualidade físico-hídrica de um solo, por relacionar-se mais diretamente com o movimento da água no solo. A aeração do solo, por exemplo, está altamente correlacionada com mudanças no volume do solo que ocorre com variações no seu conteúdo de umidade. Solos que apresentam grandes mudanças no volume com a umidade, tendem a ser pobremente aerados quando apresentam quantidades adequadas de água para o crescimento radicular.

Em relação à textura, solos arenosos podem apresentar comportamento diferenciado em relação às suas propriedades hídricas. Manfredini, Padovese e Oliveira (1984), analisando as relações entre a composição granulométrica da fração areia e o comportamento hídrico em Latossolos de textura média e em Neossolos Quartzarênicos, observaram que houve um aumento na capacidade de armazenamento de água e uma diminuição do diâmetro médio não ponderado de partículas da fração areia para um mesmo teor de umidade do solo.

Bognola et al. (1993) estudando a influência de formas de partículas de areia na capacidade de retenção de umidade, concluíram que aquelas partículas que possuíam micro-reentrâncias (visualizadas por microscópio eletrônico) tinham maior capacidade de reter umidade do solo.

Por outro lado, relativamente poucos estudos foram feitos sobre a taxa de crescimento de raízes de pinus, as quais podem ser limitadas por quaisquer dos três fatores físicos do solo: resistência mecânica, potencial d'água ou aeração da terra. Todos os três fatores variaram com conteúdo da água da terra e, sob condições de campo, para um dado local específico, a taxa de crescimento da raiz dependeu deste conteúdo d'água (MORRIS et al., 2006).

2.3.2 Índice de Sítio

Apesar do grande desenvolvimento da silvicultura brasileira nos últimos anos, a avaliação de terras para desenvolvimento de projetos florestais é ainda muito deficiente. As razões são basicamente oriundas da falta de informações mais detalhadas do meio físico onde as espécies florestais são plantadas. Com relação ao meio abiótico é de grande importância para o manejo e planejamento florestal estimar e inventariar a capacidade produtiva do sítio e ou unidade de manejo, razão pela qual é recomendável a existência de métodos alternativos para classificar e mapear os sítios. A expressão sítio é utilizada para designar uma unidade de área indivisível em termos de produtividade florestal, sendo reflexo, em última análise, da interação de todas as variáveis biológicas e ambientais (pedológicas, topográficas e climáticas) que afetam o crescimento (GONÇALVES, 1988). Com essa divisão, têm-se condições de melhorar o preparo das áreas de plantio, otimizar o planejamento e executar as atividades florestais, reduzindo os impactos sobre o meio ambiente.

Apud Scolforo (1997):

[...] a classificação das terras florestais quanto ao seu potencial de produtividade é um importante elemento, tanto para o manejador, como para o administrador da empresa florestal, já que o índice que expressa esta

produtividade é uma variável requerida nos modelos de predição presente e futura do crescimento e da produção. A importância desta classificação é, entretanto, muito mais ampla, podendo ser à base da estratificação dos povoamentos florestais, tanto para fins de inventário como para fins de exploração, ainda clarificando as possibilidades e riscos para o manejo das florestas, sendo, portanto, uma variável a ser considerada em planejamentos local, regional, de curto ou longo prazos.

Segundo Scolforo e Machado (1988), a estratificação do ambiente para o manejo da produção de madeira, tem na qualidade do sítio, um papel importante e, pode ser definida, como “a produção potencial de madeira de um local homogêneo para uma particular espécie ou tipologia florestal”. As palavras “boas” e “pobres” são freqüentemente usadas como adjetivos de qualidade de sítio e simplesmente implicam em potencial produtivo alto ou potencial baixo, respectivamente (ACERBI JÚNIOR et al., 2002). É preciso ressaltar que um determinado local pode ter uma boa qualidade de sítio para uma espécie, porém pode apresentar uma pobre qualidade de sítio para outra (CLUTTER et al., 1983; TONINI et al., 2001).

Trabalhos como os de Meyer et al. (1961), Machado (1978 e 1981), Buford e McKee (1988), Guldin et al. (1988), Ares (1993), Ares e Marlats (1995), Gerding e Schlatter (1995) e Barra (1996), relacionaram o crescimento de diferentes espécies florestais com fatores de sítio, utilizando as mais variadas técnicas estatísticas como análise multivariada, correlação e análise de regressão. No entanto, uma cuidadosa escolha de um grupo de variáveis deve explicar de 65 a 80% da variação no crescimento das árvores para que se façam prognoses aceitáveis.

Este parece ser o principal problema das classificações de sítio por fatores ecológicos, pois dependem da correlação com os valores de Índice de Sítio (IS) como medida de sua acuracidade, o que faz com que a habilidade destas funções em prever o crescimento em termos de IS seja bastante pobre. Entre as características da vegetação, a altura é o parâmetro mais usado na avaliação da qualidade do sítio.

Segundo Tobar (1976), apesar do volume ser o parâmetro mais apropriado para se avaliar a capacidade de uma determinada área para produzir madeira, existem alguns inconvenientes que tornam difícil sua aplicação, entre os quais se destacam: 1) o volume é influenciado pela idade, espécie, densidade e tratamentos

que foram realizados no talhão; 2) o volume é influenciado por fatores genéticos; 3) a estimativa do volume real de um povoamento é uma operação laboriosa e complexa. Devido às limitações do uso do volume como indicador da qualidade do sítio, os investigadores preferem a utilização da altura e, em geral, consideram o parâmetro mais apropriado para este fim (MACHADO, 1978).

Contudo, diversos trabalhos que correlacionam unidades de solos com qualidade de sítio – na maioria das vezes, representada pelo índice de sítio –, revelam uma grande variação do mesmo dentro de cada unidade de mapeamento. Em muitos casos, os valores médios dos índices de sítio obtidos foram similares entre diferentes unidades pedológicas. Outras vezes, para uma mesma classe de solo, podem-se ter índices de sítios diferenciados. No entanto, é preciso identificar as classes de solos, no mínimo até o quarto nível do sistema brasileiro de classificação, ou até sexto níveis, pois aí poderão estar as explicações para as diferentes produções de uma espécie florestal e para a melhor definição de sítios florestais.

Árvores de uma mesma espécie podem reagir diferentemente em um determinado solo (DAVIS, 1966) e, ainda, o padrão de crescimento em altura pode variar não somente entre grupos de solos, mas dentro de um mesmo grupo (CARMEAN, 1967). Segundo Gonçalves (1989), estas profundas variações nos índices de sítios, numa mesma unidade de solo são devidas a certas características do meio físico e do próprio solo que são intimamente relacionadas com o crescimento das árvores. Nas plantações florestais são toleráveis determinados desbalanços nutricionais temporários, mas ao longo do ciclo silvicultural deve ser mantido um equilíbrio dinâmico entre as entradas e as saídas dos nutrientes do sítio, conforme evidenciado por Stape (1997). É preciso saber entender o ambiente como um todo.

Scolforo (1997) enfatiza que a estimativa da qualidade de sítio mediante a “classificação multifatorial de sítio” é seguramente o procedimento de classificação da produtividade mais eficiente, no entanto, pela sua complexidade não tem sido implementada pelos pesquisadores de forma geral. Neste procedimento, faz-se uso

de estatística multivariada, a qual possibilita interpretar um conjunto de vários fatores ao mesmo tempo. Assim, pode-se identificar se precipitação, umidade relativa, temperatura, profundidade do solo, macro e micronutrientes, dentre outros, explicam com a mesma intensidade ou não a qualidade do sítio. Identificados os fatores que melhor explicam a produtividade, pode-se então promover a classificação do mesmo. Além disso, ao identificar os fatores limitantes do sítio para determinada espécie, são onde se apresentam as oportunidades ao silvicultor para intervir no manejo desde o plantio até a colheita.

2.4 METODOLOGIAS PARA DEFINIÇÃO DE UNIDADES DE MANEJO PRODUTIVAS

A complexidade inerente aos fatores ecológicos, o elevado número de dados e seus inter-relacionamentos, a complexidade de sítios e de fatores ambientais, dentre outras características inerentes às espécies florestais, têm impedido o sucesso de aplicação dos procedimentos de sumarização e classificação de dados (JOHNSON e WICHERN, 1998). Justifica-se assim, o uso de técnicas estatísticas multivariadas, quando os objetivos da investigação científica se ajustam a: redução ou simplificação estrutural dos dados; agrupamento e classificação de objetos; investigação da dependência entre variáveis; predição; e, construção de testes de hipóteses.

A estatística multivariada consiste em um conjunto de métodos utilizados em situações nas quais inúmeras variáveis são medidas simultaneamente em cada elemento amostral. Em geral, as variáveis são correlacionadas entre si e quanto maior o número de variáveis mais complexo torna-se a análise por métodos comuns de estatística univariada.

Estas técnicas multivariadas permitem ainda que se faça uma redução na dimensão de análises com múltiplas respostas com o objetivo de simplificar o seu entendimento, a sua visualização e interpretação, e ainda obter suficientes detalhes para uma adequada representação destes resultados. Ela engloba métodos estatísticos para descrever e analisar dados que incluem medidas simultâneas de muitas variáveis

correlacionadas, que se supõe, explicam a complexidade de um sistema biológico (MINGOTI, 2005).

Sob o ponto de vista matemático, os métodos de análises multivariadas são uma mistura de álgebra de matrizes, geometria, cálculo e estatística. Sob o ponto de vista estrutural e funcional, são conjuntos de procedimentos que podem ser organizados em poucos protótipos de problemas. Sob o ponto de vista prático, são técnicas desenvolvidas para revelar ou relevar características associativas e informações contidas em conjuntos complexos de dados, suprimindo detalhes menos importantes (TINSLEY e BROWN, 2000).

Segundo Johnson e Wichern (1998) a complexidade da maioria dos fenômenos requer a observação, coleta e análise de muitas variáveis. As melhores técnicas de análise de dados que incluem medições simultâneas de um grande número de variáveis são as de análise multivariada. Análise de componentes principais (ACP) é uma das técnicas sob a denominação geral de métodos de estatística multivariada. ACP é extremamente útil na redução das dimensões de um conjunto de dados, análise da estrutura de sistemas multidimensionais e para processos descritivos (AHRENS e HOLBERT, 1981).

Em linhas gerais, os métodos de estatística multivariada são utilizados com o propósito de simplificar ou facilitar a interpretação do fenômeno que está sendo estudado através da construção de índices ou variáveis alternativas que sintetizem a informação original dos dados. Também são métodos para construir grupos de elementos amostrais que acrescentem similaridade entre si, possibilitando a segmentação do conjunto de dados originais, além de poder investigar as relações de dependência entre as variáveis respostas associadas ao fenômeno e outros fatores (variáveis explicativas), muitas vezes, com objetivos de predição. Ainda servem para comparar populações ou validar suposições através de testes de hipóteses (MINGOTI, 2005). Entre as técnicas eficientes de classificação de dados multivariados, estão a Análise de Componentes Principais e Fatorial, Análise de Trilha, Análise Discriminante, Análise de Variância Multivariada (MANOVA), Correlações Canônicas e Análise de Agrupamento entre outras, as quais se

relacionam com a separação de indivíduos distintos e alocação desses em grupos pré-definidos (JOHNSON e WICHERN, 1998).

Basicamente, a estatística multivariada se divide em dois grupos: um primeiro, consistindo em técnicas exploratórias de sintetização (simplificação) ou de unificação da estrutura de variabilidade dos dados; e o segundo, consistindo em técnicas de inferência estatística. Fazem parte do primeiro grupo métodos como a análise de componentes principais, análise fatorial, análise de correlações canônicas, análise discriminante, análise de correspondência e análises de agrupamentos. Esses métodos têm um apelo prático muito interessante, pois, na sua maioria, independem do conhecimento da forma matemática da distribuição de probabilidades geradora dos dados amostrais. No segundo grupo, encontram-se os métodos de estimação de parâmetros, testes de hipóteses, análise de variância, de covariância e de regressão multivariadas (MINGOTI, 2005).

Segundo Queiroz (1984), a justificativa para medir diversas variáveis em cada unidade amostral é, na maioria dos casos, de que nenhuma delas consegue caracterizar individualmente de maneira adequada essa unidade, ou consegue discriminar os indivíduos com relação a qualquer critério que seja empregado. Além disso, desde que diversas medidas em cada uma das unidades experimentais estejam correlacionadas, torna-se inapropriado aplicar a análise multivariada para cada uma das variáveis, uma vez que essa análise é uma simplificação que se apresenta quando somente uma característica é tomada do material experimental.

Na ciência do solo, o uso de técnicas multivariadas não tem sido freqüente quando comparada a outros ramos da ciência. Particularmente no Brasil, seu uso é pouco difundido. A área de classificação do solo é que vem utilizando essas técnicas, em particular a análise de agrupamento, uma vez que os objetivos dessa técnica coincidem com os objetivos da classificação de solos, que é organizar membros de uma grande população em grupos ou classes de indivíduos onde a natureza e as relações entre eles possam ser mais bem entendidas. Diversos outros autores utilizaram técnicas multivariadas no estudo de solos (CAMPBELL et al., 1970; KLOOSTERMAN e LAVKULICH, 1973; RATKOWSKY e MARTIN,

1974; SONDEIM; SINGLETON e LAVIKULICH, 1981; LITTLE e SMITH, 1986; RYAN, 1986; OLIVER e WEBSTER, 1987; ATKINSON, 1988; NANNI, 1995; NANNI et al., 2004; GAMA-RODRIGUES et al., 2005 etc.).

Dunning et al. (1986) utilizaram várias técnicas multivariadas (análises de componentes principais, análise de agrupamento etc.) para dividir trinta solos florestais em seis grupos, baseados em suas características físicas e químicas. A classificação numérica correspondeu à classificação tradicional de solos. Os grupos formados pelos métodos numéricos (multivariados) corresponderam a diferentes espécies florestais. A partir dessas análises não só se podem dividir os perfis de solos em diferentes grupos, mas também estabelecer índices para separar as várias propriedades dos solos.

Contudo, devido à complexa relação entre o meio ambiente e os aspectos de produção de uma determinada espécie florestal, não se pode apenas limitar o estudo à estatística clássica. Nos últimos anos, observa-se o desenvolvimento de modelos quantitativos, categorizados em um novo ramo da ciência do solo conhecido como “*pedometria*” (McBRATNEY et al., 1986), formalmente definida por Webster (1985) e Webster e Oliver (1990) como um neologismo derivado dos termos de origem grega *pedon* (solo) e *metron* (medida).

Países como Austrália, Estados Unidos, França e Holanda, dentre outros, têm mudado a abordagem tradicional de estudo dos recursos naturais, adotando modelos quantitativos, técnicas de predição espacial, determinação de precisão e de incertezas de atributos e integração de dados em sistema de informações geográficas (SIG). Conforme destaca Barbosa (1997), uma das características importantes dos SIG é representar a informação espacial numericamente modelando-a por estatística espacial (geoestatística).

As técnicas quantitativas de predição espacial em levantamentos de solos são geralmente derivadas da geoestatística e de métodos estatísticos modernos (McBRATNEY et al., 1986). Nos anos 80, o tema dependência espacial voltou a ser alvo de estudo na ciência florestal. Samra et al. (1989) procuraram modelar o crescimento de altura para *Melia azedarach* na Índia fazendo uso de técnicas da geoestatística.

A associação de técnicas geoestatísticas com sensoriamento remoto foi trabalhada por Cohen, Spies e Bradshaw (1990) e Wulder et al. (1996). Estes autores procuraram caracterizar a estrutura de copa de coníferas a partir de imagens de satélite e parâmetros biofísicos, tais como índice de área foliar e área basal. Eles concluíram ter sido possível usar métodos geoestatísticos de krigagem para mapeamento da altura dominante e área basal na área estudada.

Outras aplicações da geoestatística na área florestal são na estimativa de índices de sítio (HÖCK et al., 1998), estimativa do volume total de madeira num povoamento de *Pinus* sp. (GUNNARSON, HOLM e THURESONN, 1998) e na determinação do grau de dependência espacial para área basal de *P. ponderosa* (BIONDI et al., 1994). Thompson (1992) mostrou a importância da krigagem em estudos ecológicos, utilizando informações de uma área amostrada para prever determinada característica em toda a região.

A modelagem geoespacial permite a descrição quantitativa da variabilidade espacial dos atributos do solo e a estimativa não tendenciosa da variância mínima de valores desses atributos em locais não amostrados. Acessar essa variabilidade faz da geoestatística uma eficiente ferramenta de suporte a decisão no manejo de solo e água das espécies florestais. As intervenções para corrigir variações indesejáveis da oferta de nutrientes e água passam a ser balizadas por mapas de isovalores das variáveis de interesse (BOLFE e GOMES, 2006).

Ainda, segundo Bolfe e Gomes (2006), devem-se analisar e planejar o número de coletas de dados, através do custo/benefício, pois um grande número de pontos amostrais aumenta o custo da operação e pode inviabilizar a implantação do processo. Os métodos geoestatísticos de interpolação, em especial o da krigagem, apresentam propriedades ótimas de estimativas em dados esparsos. Para a aplicação das técnicas de geoestatística, necessita-se, primeiramente, detalhar a área onde será implantado o estudo. Para tanto, todas as informações devem ser georreferenciadas juntamente com um processo de amostragem dentro de uma região geográfica definida.

Esse processo é viabilizado pela implantação de um sistema de coordenadas locais ou geográficas, onde cada atributo ou característica do solo terá suas

informações quantitativas e/ou qualitativas (relevo, granulometria, textura, teor de argila, acidez, matéria orgânica etc.) associados a um ponto no espaço. Essas informações podem ser obtidas por meio de coleta *in loco*, mapas temáticos ou fotografias aéreas. Para referenciar essas informações utiliza-se o GPS (Sistema de Posicionamento Global), ou de forma mais simplificada através da topografia convencional, obtendo as coordenadas locais.

Vários trabalhos empregando técnicas da geoestatística têm mostrado que a variabilidade do solo não é aleatória e apresenta dependência espacial (TRANGMAR, YOST e UEHARA, 1985; WEBSTER, 1985; VILORIA, 1989; VIEIRA e MARIA, 1996; COUTO e KLAMT, 1999). Uma análise criteriosa visando conhecer o comportamento espacial das características dendrométricas e do meio físico é de fundamental importância na escolha de um método estatístico (clássico ou geoespacial) que otimize recurso sem perda de precisão no processo de estimativa (MELLO et al., 2006).

Por outro lado, os Sistemas de Informação Geográfica – SIG, apresentam boas potencialidades de integração e análise de informação de dados do meio físico, sendo uma ferramenta em constante desenvolvimento nesta área, mas ainda não totalmente explorada. Uma das necessidades das empresas florestais relaciona-se com a obtenção de valores de dados de crescimento de uma determinada espécie, bem como de dados de características dos solos, relevo, geologia etc., onde não existem estas informações através de técnicas de interpolação que transformam valores pontuais em superfícies contidas no limite da malha de pontos considerada.

Neste contexto, os aspectos dos levantamentos dos inventários florestais se revestem de grande importância. Segundo Péllico Netto e Brena (1997) o inventário florestal é uma atividade que faz uso dos fundamentos da teoria da amostragem, a fim de determinar ou estimar uma dada característica, seja quantitativa ou qualitativa, de uma amostra. As unidades amostrais são selecionadas conforme o procedimento de um delineamento amostral. Existem diversos estudos na área florestal visando avaliar o desempenho de diferentes procedimentos de amostragem (HIGUCHI, 1986/87; KORNING et al. 1991; MACHADO, 1988; MELLO e SCOLFORO, 2000).

Os SIG integram as técnicas de geoestatística possibilitando os procedimentos de análise, integração e combinação flexível dos dados do meio físico com os de inventário florestal, visualização, armazenamento dos conjuntos de dados e obtenção de cartografia georreferenciada, contribuindo desta forma com uma mais valia para as empresas do ramo florestal (MELLO et al., 2006).

Ainda, a geoestatística tem mostrado grande utilidade para caracterizar e mapear as variações do ambiente (FROMM et al., 1993; MARTINEZ e ZINCK, 1994; MOGLEN e BRAS, 1995; SCHLESINGER et al., 1996; VIEIRA, 1997; CARVALHO e ASSAD, 2002; VIEIRA et al., 2002; ROMANI et al., 2003; BÖNISCH et al., 2000 e 2004; GREGO e VIEIRA, 2005; MELLO et al., 2005; GREGO, VIEIRA e ANTONIO, 2006). Os procedimentos mais comuns incluem a caracterização e o modelamento da variabilidade espacial, por meio da estimativa dos valores nos locais não visitados, simulações espaciais, e otimização dos esquemas de amostragens (CAMBARDELLA et al., 1994).

Na estatística clássica, as amostras são independentes, ou seja, as amostras têm igual probabilidade de ocorrência, já na geoestatística as amostras são dependentes da posição espacial, elas não têm igual probabilidade de ocorrência. Desta forma, os principais argumentos para justificar o uso das técnicas geoestatísticas estão na obtenção do padrão da continuidade espacial do fenômeno estudado, estabelecido à partir do ajuste de uma função do variograma experimental, que pressupõe um completo entendimento dos efeitos da escolha tanto do modelo (o que também pressupõe o reconhecimento do mais amplo quanto possível espectro de funções passíveis de representarem a continuidade do fenômeno do meio físico) quanto dos parâmetros deste modelo no comportamento da estimativa (CORÁ, 1996).

Modelos inferenciais para os estudos da relação entre as variáveis de crescimento de uma determinada espécie vegetal com as características do meio físico vêm sendo propostos. Matheron (1962, 1971), baseado nas observações de Krige (1966), desenvolveu a teoria das variáveis regionalizadas. Uma variável regionalizada é uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com

continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples. Na realidade, as propriedades naturais da superfície terrestre são espacialmente contínuas.

Segundo Bubenicek e Haas (1969), as características qualitativas de variáveis regionalizadas (ou geoestatística), que os métodos estatísticos convencionais não conseguem reconhecer, são:

- ✓ **Localização:** os valores de uma variável regionalizada são dependentes de suas funções espaciais relativas dentro do campo geométrico (depósito). Além disso, estes valores são dependentes do tamanho da amostra, forma e orientação (suporte amostral);
- ✓ **Suporte:** por vezes a variável regionalizada $Z(x)$ não está definida num ponto, mas sobre uma área ou volume centrado em x . À unidade amostral básica sobre a qual a variável é medida chama-se suporte (IPT, 1989);
- ✓ **Continuidade:** a variação espacial de uma variável regionalizada pode ser, dependendo do fenômeno, grande ou pequena, mas deve existir certa continuidade ponto a ponto;
- ✓ **Anisotropias:** a regionalização pode apresentar anisotropias quando apresentam variações graduais numa direção e rápida ou irregular em outra;
- ✓ **Fenômenos de transição:** no campo da variável, particularmente em formações sedimentares, as estruturas são freqüentemente encontradas consistindo de lentes superpostas. Estas estruturas formam uma rede de descontinuidades nas bordas das lentes, que é caracterizada como fenômeno de transição.

A obtenção da correta estimativa da distribuição espacial de unidades de manejo produtivas (UMP's) para o *P. taeda* é primordial no planejamento florestal, pois é capaz até de se predizer produções futuras. Além disso, a estimativa adequada da distribuição espacial e temporal de variáveis climáticas, como a precipitação local, é importante para predizer períodos de muitas chuvas (que afetam as colheitas e outras operações florestais) e ou estiagens muito longas que afetam o balanço hídrico dos solos, bem como nível de água dos mananciais e dos reservatórios locais. Também as quantificações das chuvas com intensidades superiores ao suporte dos solos são importantes nos planejamentos florestal e ambiental para o correto dimensionamento das obras, tanto na construção civil quanto na conservação do solo (VIEIRA e CARVALHO, 2001; CARVALHO e ASSAD, 2002, 2005).

É usual a adoção de um valor médio, suposto representativo, obtido de uma amostra (conjunto de parcelas), para caracterizar o estado atual e temporal da variável de interesse dentro da floresta. Essa variabilidade espacial pode, muitas vezes, afetar de forma marcante a qualidade das estimativas feitas pelo inventário. Desse modo, uma análise criteriosa visando conhecer o comportamento espacial de uma determinada característica dendrométrica é de fundamental importância na escolha de um método estatístico que otimize recurso sem perda de precisão no processo de estimativa (MELLO, 2004).

A geoestatística é um método estatístico que explora adequadamente as relações existentes entre as unidades amostrais. Os métodos tradicionais de estatística usados para análise dos inventários florestais em função de características do meio físico, utilizam-se de uma medida central (média) e uma de dispersão (variância) para descrever um determinado fenômeno, sem levar em consideração, as possíveis correlações entre observações vizinhas. Portanto, eles não exploram suficientemente as relações que possam existir entre as unidades amostrais. Já os métodos de geoestatística podem melhor avaliar a estrutura de dependência espacial entre as características dendrométricas da espécie em estudo com as variáveis do meio físico, no sentido de se obter resultados que sejam capazes de explorar adequadamente as relações espaciais existentes entre os dados.

Embora a geoestatística seja amplamente aplicada na geologia e ciência do solo, apresenta também grande potencial para ser aplicada em outras áreas da ciência, podendo caracterizar o comportamento espacial de variáveis, tais como as características dendrométricas. A Teoria das Variáveis Regionalizadas, versão inicial da Geoestatística foi desenvolvida por Matheron (1962), que a definiu a partir de uma função espacial numérica, variando de um local para outro, apresentando continuidade aparente, cuja variação não pode simplesmente ser representada por uma função matemática. Hoje, a geoestatística tem a sua fundamentação teórica totalmente inserida na teoria convencional da Estatística, como pode ser visto em Oliveira (1991), Cressie (1993), Diggle e Ribeiro Júnior (2002) e Diggle; Ribeiro Júnior e Christensen (2003).

Por outro lado, dados referentes a parâmetros do solo possuem uma natureza multivariada por tratar-se de áreas com mudanças contínuas, gradativas e uniformes pelo terreno, mas sujeitos aos diferentes manejos e tratamentos que podem influir na sua caracterização pela própria atividade agrícola ou florestal.

Castrignanò et al. (2000) investigaram a variabilidade espacial de pH, CTC, N total, P, K e Na, na Itália Central, através de análise estatística convencional e geoestatística multivariada, procurando explicações plausíveis para distribuição das características, à luz da evidência estatística. Os autores afirmam que, para tal, análises de correionalização podem revelar mais que a geoestatística univariada, e escalas de dependência das estruturas de correlação podem refletir diferentes fontes de variabilidade. Isso requer uma aproximação estatística particular que combina a clássica ACP, para descrever a estrutura de correlação de dados multivariados, com geoestatística para a regionalização natural das variáveis.

O método aplicado da “Análise de Krigagem Fatorial (AKF)”, possibilita o estudo das correlações de propriedades físicas e químicas do solo em diferentes escalas espaciais, uma vez que essa variabilidade resulta do processo natural e práticas de manejo que são empregadas na área. A geoestatística multivariada descreveu mais fielmente a variabilidade dos elementos do solo, produzindo um padrão sistemático da fertilidade do solo. Várias ferramentas são citadas na literatura como alternativas no estudo geoestatístico multivariado, cada qual com sua particularidade e vantagens.

Para uma análise mais extensiva da dependência espacial das variáveis do solo, deve-se utilizar a geoestatística multivariada, sendo necessário, contudo, que sejam observadas algumas características multivariadas que envolvem as variáveis (MANZIONE, 2002). Estes fatos demonstram a importância de se tratar adequadamente à questão da seleção e ajuste de modelos espaciais. Neste particular, os semivariogramas experimentais são ferramentas básicas de suporte às técnicas de geoestatística, ao permitir representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1978).

A teoria das variáveis regionalizadas pressupõe que a variação de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes: a) uma componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante; b) uma componente aleatória, espacialmente correlacionada; e c) um ruído aleatório ou erro residual (BURROUGH et al., 1994).

Segundo estes mesmos autores, se x representa uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável Z , em x , é dada por:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad (2.1)$$

onde:

- $m(x)$ é uma função determinística que descreve a componente estrutural de Z em x ;
- $\varepsilon'(x)$ é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$;
- ε'' é um ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância (σ^2).

A componente determinística, $m(x)$, é constante (não há tendências na região);

A variância das diferenças entre duas amostras depende somente da distância h entre elas, ou seja, é a esperança matemática da diferença entre os pares de pontos separados por uma distância (h), isto é:

$$\text{Var} [Z(x) - Z(x+h)] = E \{ [Z(x)-Z(x+h)]^2 \} = 2\gamma (h), \quad (2.2)$$

onde $\gamma (h)$ é chamado de semivariância.

Para mostrar a contribuição da semivariância, pode-se reescrever a equação 2.1 como: $Z(x) = m(x) + \gamma (h) + \varepsilon''$ (2.3)

Em outras palavras, como se supõe $m(x)$ ser constante, a variação local das amostras (e seu relacionamento espacial) pode ser caracterizado pela semivariância $\gamma (h)$.

Note que a função variograma, como representado na equação (2.2),

depende da localização (x) e do deslocamento (h). Para que o variograma seja função apenas de h , é necessário adotar a “Hipótese Intrínseca”, ou seja, a variância da diferença entre dois pontos-amostra só depende desta diferença, sendo a mesma para toda a área avaliada (estacionaridade). É importante ressaltar que, na presença de estacionaridade, há uma relação direta entre a correlação e a semivariância. Esta relação é dada pela seguinte expressão: $\gamma(h) = C_0 - \rho(h)$.

Através de uma amostra $z(x_i)$, $i=1, 2, \dots, n$, o semivariograma pode ser estimado por

$$2 \hat{\gamma}(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (2.4)$$

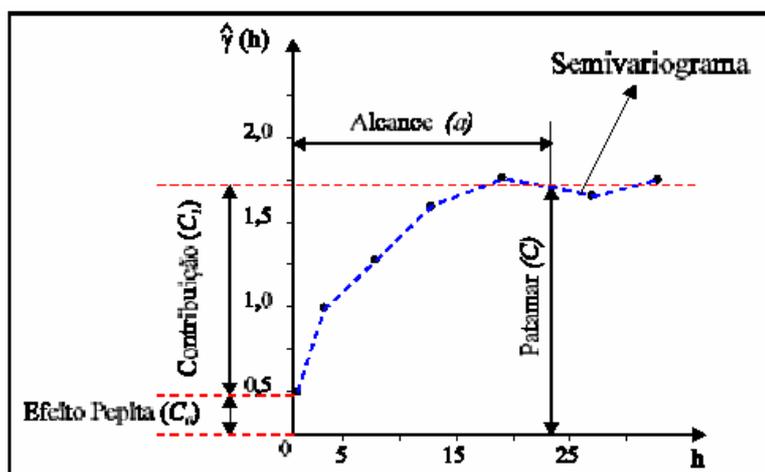
onde:

- $2 \hat{\gamma}(h)$ - é o semivariograma estimado;
- $N(h)$ - é o número de pares de valores medidos, $z(x_i)$ e $z(x_i+h)$, separados por um vetor distância h ;
- $z(x_i)$ e $z(x_i+h)$ - são valores da i -ésima observação da variável regionalizada, coletados nos pontos x_i e x_i+h ($i = 1, \dots, n$), separados pelo vetor h .

Segundo Ribeiro Júnior (1995), os semivariogramas são preferidos para caracterizar a estrutura de continuidade espacial da variável avaliada por exigirem hipóteses de estacionaridade menos restritiva. A Figura 2 ilustra um semivariograma experimental com características muito próximas do ideal. O seu padrão representa o que, intuitivamente, se espera de dados de campo, isto é, que as diferenças $\{Z(x_i) - Z(x_i + h)\}$ diminuam à medida que h , a distância que os separam, decresce. É esperado que observações mais próximas geograficamente tenham um comportamento mais semelhante entre si do que aquelas separadas por maiores distâncias.

Desta maneira, é esperado que $\gamma(h)$ aumente com a distância h . O gráfico do semivariograma experimental, $\gamma(h)$, calculado através da equação (2.4), é formado por uma série de valores sobre os quais se objetiva ajustar uma função. É importante que o modelo ajustado represente a tendência de $\gamma(h)$, em relação a h . Os parâmetros do semivariograma podem ser observados diretamente da Figura 2:

FIGURA 2 - ILUSTRAÇÃO DE SEMIVARIOGRAMA TÍPICO PARA DADOS SEM TENDÊNCIA E COM RUÍDOS



Fonte: Instituto de Geociências (2006)

- ✓ **Alcance (a)**: distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Nesta figura, o alcance ocorre próximo de 25m.
- ✓ **Patamar (C)**: é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance (a). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras, porque a variância da diferença entre pares de amostras ($\text{Var}[Z(x) - Z(x+h)]$) torna-se invariante com a distância.
- ✓ **Efeito Pepita (C₀)**(variação ao acaso): idealmente, $\gamma(0) = 0$. Entretanto, na prática, à medida que h tende para 0 (zero), $\gamma(0)$ se aproxima de um valor positivo chamado “Efeito Pepita (C₀)”, que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. Parte desta descontinuidade pode ser também devida a erros de medição (ISAACS e SRIVASTAVA, 1989).
- ✓ **Contribuição (C₁)**: é a diferença entre o patamar (C) e o Efeito Pepita (C₀).

O procedimento de ajuste não é direto e automático, como no caso de uma regressão, mas sim interativo, pois nesse processo o intérprete faz um primeiro ajuste e verifica a adequação do modelo teórico. Dependendo do ajuste obtido, pode ou não redefinir o modelo, até obter um que seja considerado satisfatório. Para isso, existem vários modelos que devem ser ajustados aos semivariogramas, os quais permitem visualizar a natureza da variação espacial das variáveis estudadas, além de serem necessários para outras aplicações, como, por exemplo, *krigagem* (CARVALHO; SILVEIRA e VIEIRA, 2002). Estes modelos, chamados de modelos teóricos, devem fornecer soluções estáveis para o estimador linear – krigagem. Isto quer dizer que as covariâncias têm de ser definidas positivamente, ou seja, a matriz de covariância utilizada na krigagem pode ser invertida. A condição de positividade do modelo limita o conjunto de funções usadas na modelagem do semivariograma experimental.

Os principais modelos matemáticos ajustados aos semivariogramas são apresentados a seguir, conforme Vieira (2000):

a) Modelo esférico:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right], \quad 0 < h < a, \quad (2.4)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1, \quad h \geq a;$$

b) Modelo exponencial:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \frac{h}{a} \right) \right], \quad 0 < h < d, \quad (2.5)$$

em que d é a máxima distância na qual o semivariograma é definido.

c) Modelo gaussiano:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left[1 - \exp \left(-3 \left(\frac{h}{a} \right)^2 \right) \right], \quad 0 < h < d \quad (2.6)$$

d) Modelo linear:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \frac{h}{a} \quad (2.7)$$

Nos quatro modelos acima, “ C_0 ” é o efeito “*pepita*”, “ $C_0 + C_1$ ” é o

“patamar”, e “a” é o “alcance” do semivariograma. Ajustar modelos matemáticos aos semivariogramas era um procedimento subjetivo até a década de 80. A qualidade de ajuste podia ser verificada através da técnica de “*jack-knifing*” (VIEIRA et al., 1983). No entanto, com o aumento da capacidade dos recursos computacionais, outros métodos de ajustes, sem subjetividade, foram e estão sendo estudados.

Dentre estes métodos, destacam-se os “Métodos dos Quadrados Mínimos Ordinários, Ponderados e o Método da Máxima Verossimilhança” (MELLO, 2004). Pode-se dizer que os mesmos tiveram o intuito de retirar e ou atenuar o caráter de subjetividade na estimação dos parâmetros do semivariograma. As particularidades e as pressuposições demandadas por cada método de ajuste podem ser encontradas em Cressie (1985, 1993) e por Diggle e Ribeiro Júnior (2002, 2007).

Conhecido o semivariograma da variável e, havendo dependência espacial entre as amostras, podem-se interpolar valores em qualquer posição no campo de estudo, sem tendência e com variação mínima. Inúmeros métodos de interpolação univariados e multivariados, com diversos níveis de complexidade estão disponíveis na literatura (GOOVAERTS, 1999; CARVALHO; SILVEIRA e VIEIRA, 2002; WACKERNAGEL, 2003). Ainda, o estudo da variabilidade espacial das características do meio físico é uma etapa importante para a “silvicultura de precisão”. Nesta fase, a utilização do semivariograma permite planejar desenhos ótimos de amostragem com o intuito de capturar a variabilidade em escalas espaciais de até em metros e a estimação espacial usando krigagem permite obter mapas da distribuição espacial de cada característica do solo, por exemplo.

3 MATERIAL E MÉTODOS

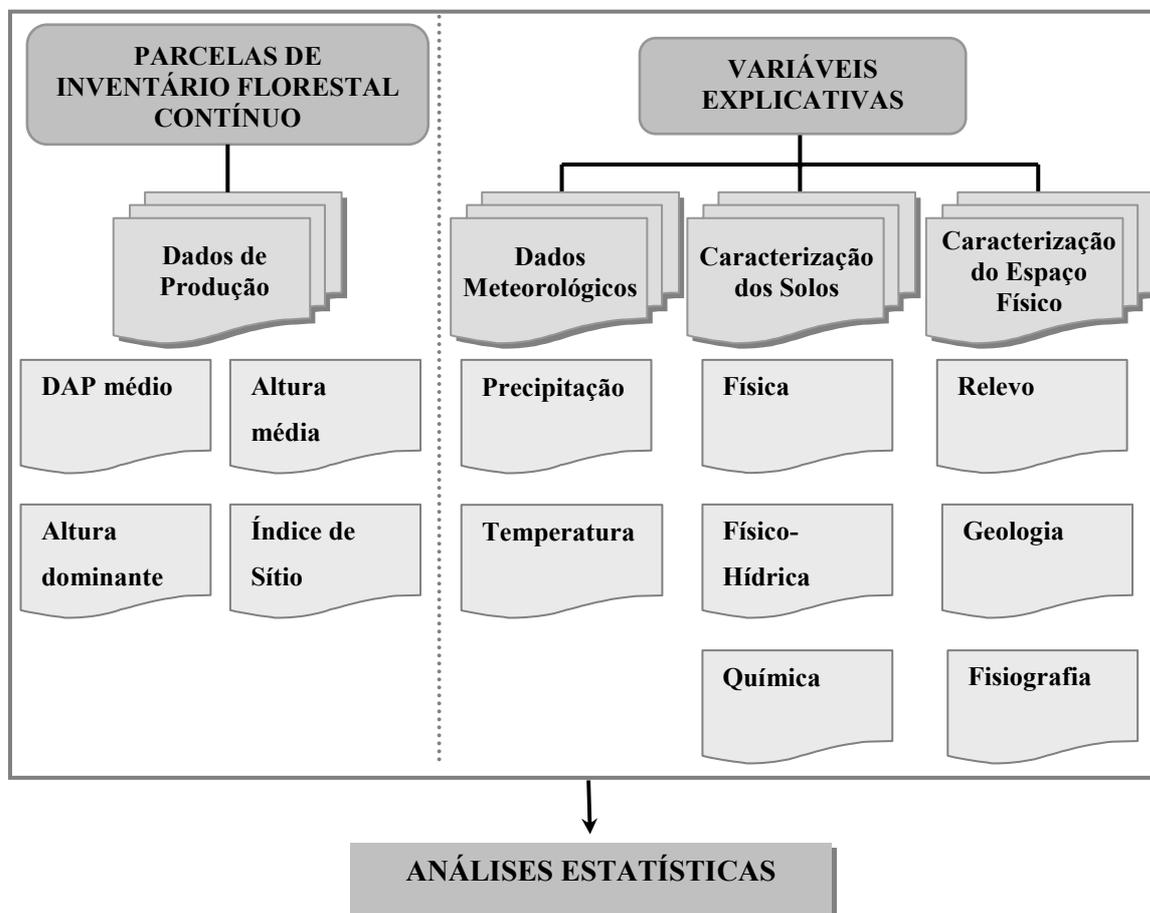
Os dados coletados em parcelas de inventário florestal contínuo (PIFC's), com área de 500 m² e espaçamento entre árvores de 2,80 x 2,80 m, constam de medidas de crescimento de *P. taeda* em cinco idades diferentes (11 a 15 anos), obtidas junto ao Setor de Inventário Florestal da MOBASA, em função das seguintes variáveis explicativas: a) dados meteorológicos de precipitações e temperaturas – médias anuais, médias máximas e médias mínimas trimestrais ao longo de vários anos –, das estações mais próximas (AGRITEMPO, 2006; EPAGRI, 2006; INMET, 2006); b) do tipo de solo e de sua caracterização física, físico-hídrica e química, através de coletas deformadas e não deformadas de amostras nas profundidades de 0–20 cm e 30–50 cm para todas as parcelas de inventário estudadas; além da caracterização do espaço físico quanto aos aspectos de relevo, geologia e fisiografia (obtidos pelo levantamento pedológico detalhado de três áreas pilotos) (Figura 3). As tabelas de dados das análises químicas e físicas do solo, de relevo, geologia e fisiografia, bem como de dados de crescimento das parcelas de inventário florestal contínuo são apresentadas no Anexo 2. As Tabelas dos dados das variáveis climáticas em cada uma das áreas pilotos são apresentadas no Anexo 3. As análises estatísticas foram realizadas através do sistema estatístico SAS[®] - *Statistical Analysis System* (SAS Institute Inc., 1993), licenciado para a Embrapa Florestas.

3.1 DESCRIÇÃO GERAL DA ÁREA

3.1.1 Localização

O estudo foi desenvolvido em três áreas pilotos, situadas nos municípios de Rio Negrinho e Doutor Pedrinho (área piloto nº 1) (Figura 4); município de Bocaina do Sul (área piloto nº 2) (Figura 5), ambas no Estado de Santa Catarina e a área piloto nº 3, situada no município de Tijucas do Sul, no Estado do Paraná (Figura 6).

FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DOS DADOS COLETADOS EM PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO EM FUNÇÃO DE VARIÁVEIS EXPLICATIVAS



3.1.2 Geomorfologia e Geologia

Segundo as descrições geomorfológicas do Estado de Santa Catarina, elaborado pelo 11º Distrito do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 1986), a área piloto nº 1 está situada no Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares, na “Região do Patamar Oriental da Bacia do Paraná” e na “Unidade do Patamar de Mafra”. Portanto, com uma área de 6.930 km², esta unidade localiza-se na parte norte do estado, onde as principais cidades são Mafra, Canoinhas e Porto União, e prolonga-se para o Estado do Paraná.

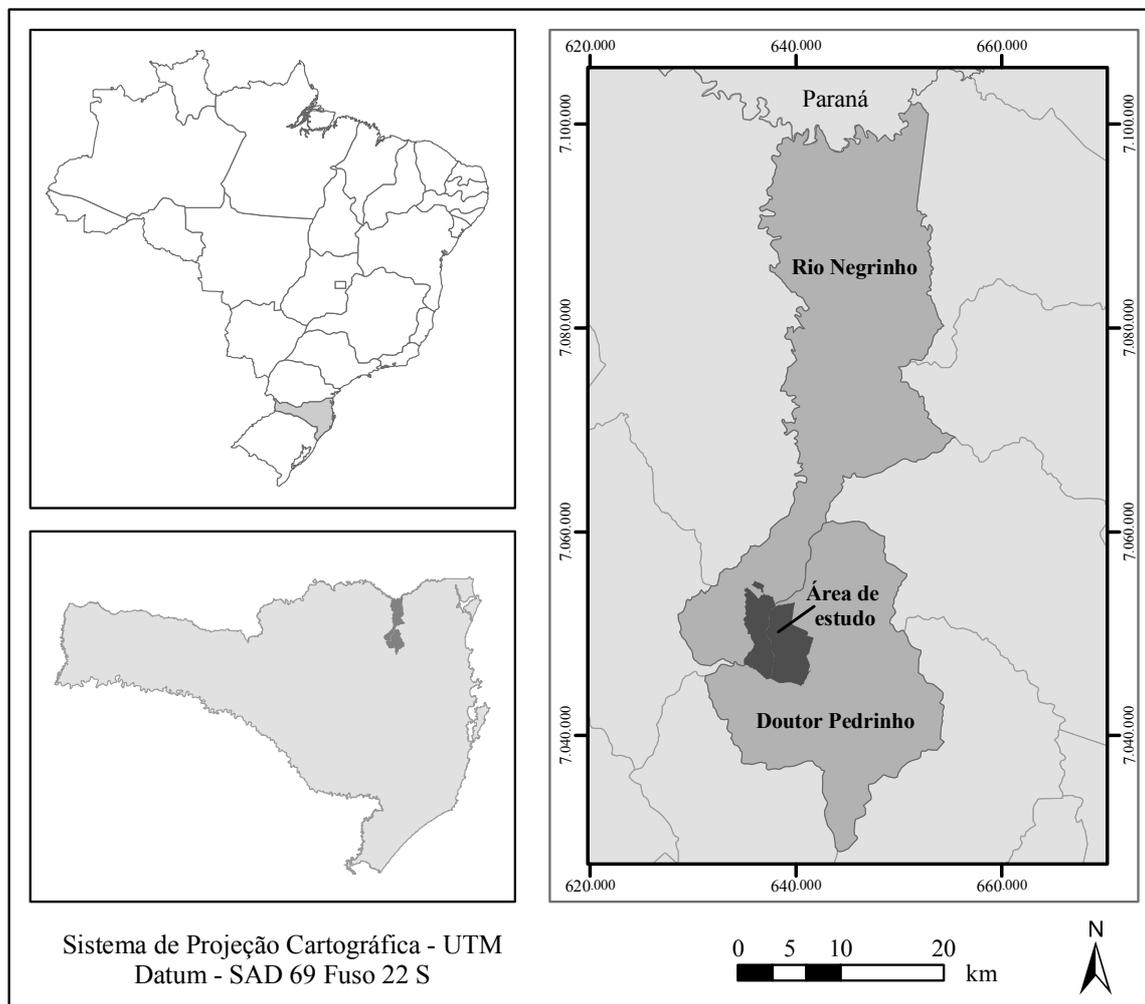
O relevo é uma superfície regular, quase plana, que no conjunto é individualizado como um patamar intermediário, predominantemente constituído por uma superfície colinosa. Os limites desta unidade com o planalto dos “Campos Gerais” são, em alguns pontos, a Cuesta da Serra Geral, com um desnível de cerca de 300 m em média. As cotas altimétricas decaem de leste para oeste, atingindo, junto a Serra Geral, valores entre 650 a 740 m.

A geologia desta unidade é representada pelo “Grupo Itararé”, conforme descrito à seguir: O grupo Itararé compreende, na bacia do Paraná, todo o pacote de sedimentos de origem glacial e periglacial relacionado ao Carbonífero Superior e Permiano Inferior, a saber:

- a. Formação Mafra** – é constituída por seqüência flúvio-marinha com predomínio de arenitos esbranquiçados, amarelados e avermelhados, finos a grosseiros. Ocorrem também diamictitos, ritmitos, conglomerados, argilitos e argilitos várvidos. A área aflorante é expressiva, especialmente na divisa com o Paraná.
- b. Formação Rio do Sul** – em Santa Catarina, a porção inferior desta formação é constituída de folhelhos e argilitos cinza-escuros. Sobre estes aparecem diamictitos acinzentados, com matrizes arenosas, intercaladas com arenitos muito finos. Estes, por sua vez, estão recobertos por folhelhos, normalmente várvidos, argilitos, ritmitos e siltitos.

A segunda área piloto, conforme é relatada nos estudos do DNPM (1986), está situada também no Domínio das Bacias e Coberturas Sedimentares, na Região do Planalto Centro-Oriental de Santa Catarina e mais precisamente na Unidade do Planalto de Lages, com uma área de 4.245 km², tendo como principal centro urbano a cidade de Lages, que lhe deu o nome (PÖTTER et al., 2004).

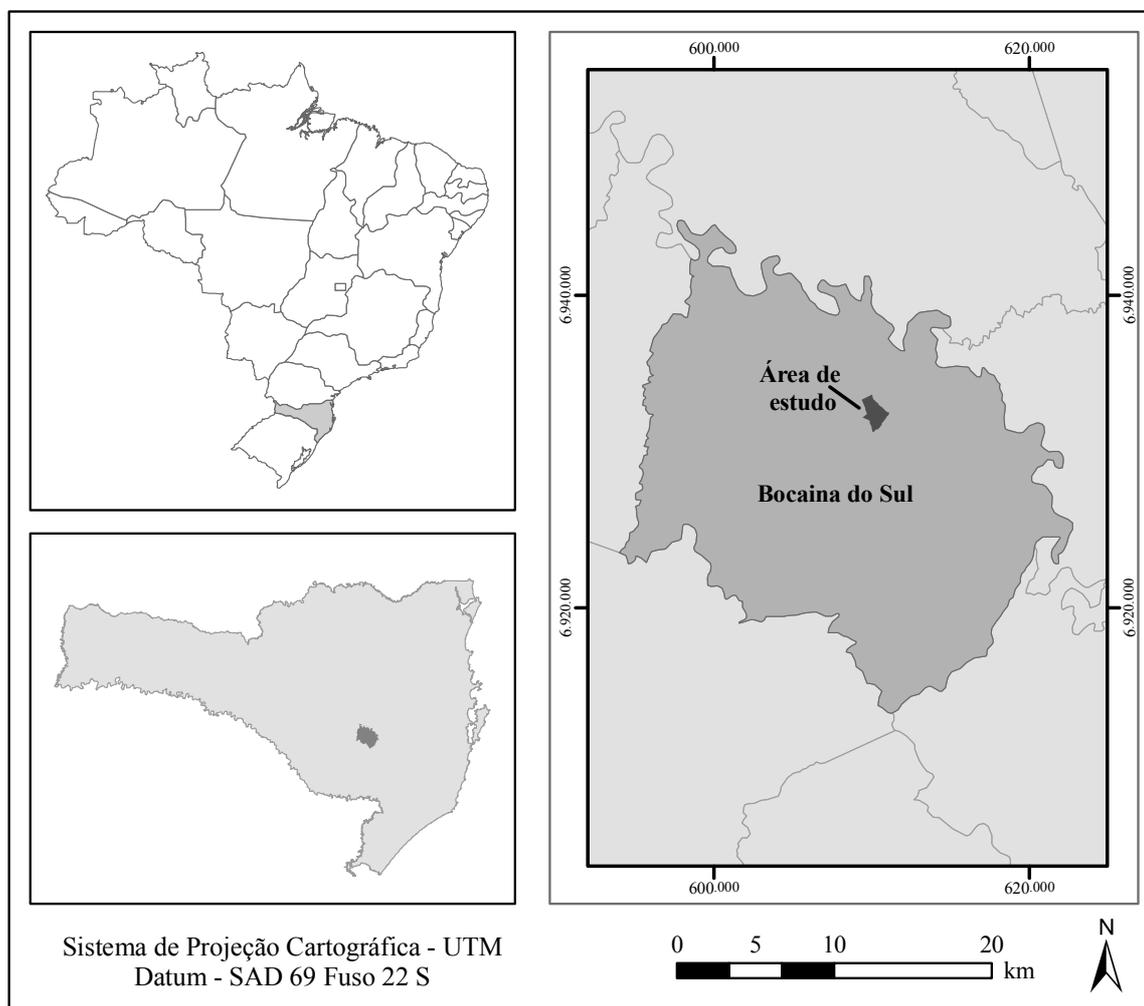
FIGURA 4- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PILOTO Nº1 SITUADA NOS MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO E DOUTOR PEDRINHO – SC, BRASIL



Fonte: MOBASA – setor SIG

Limita-se a noroeste, oeste e sudoeste com a unidade geomorfológica Planalto dos Campos Gerais, cujo contato, em alguns trechos, é feito por escarpas. Caracteriza-se por um relevo de dissecação homogênea em forma de colina, homogeneidade esta só quebrada pela presença de alguns morros testemunhos, como o morro do Tributo, com uma cota altimétrica de 1.200 m, enquanto que na maior parte da unidade as cotas variam entre 750 e 900 m. Quanto à geologia, a região está situada na interface entre o Grupo Passa Dois e o Basalto da Formação Serra Geral, do Grupo São Bento.

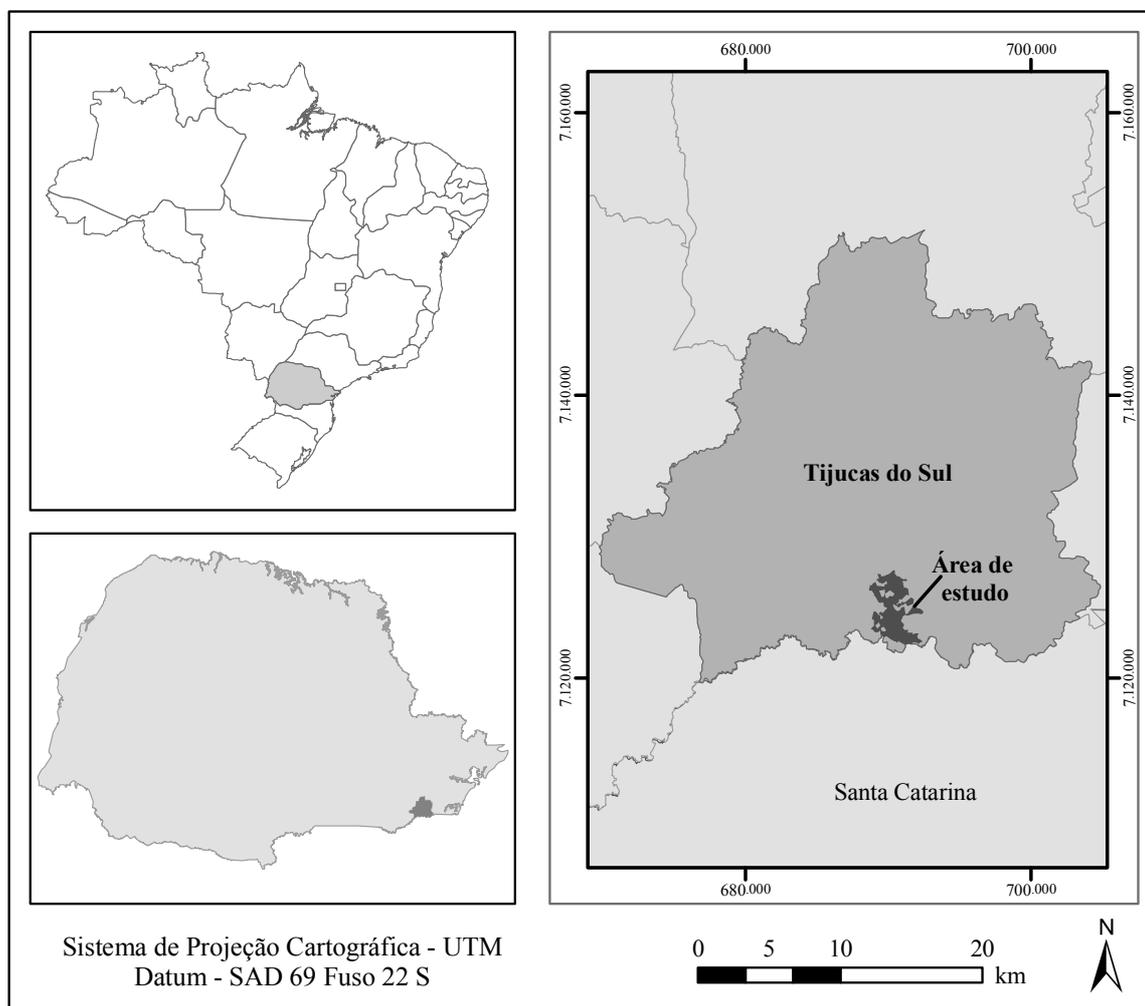
FIGURA 5 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PILOTO Nº2 SITUADA NO MUNICÍPIO DE BOCAINA DO SUL – SC, BRASIL



Fonte: MOBASA – Setor SIG

No entanto, a área de estudo, está localizada no Grupo Passa Dois, o qual é composto pelas seguintes Formações Irati, Serra Alta, Terezina e a Formação Rio do Rastro, conforme descrita a seguir, pelo fato de ser representativa na área de estudo:

FIGURA 6 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PILOTO Nº 3, SITUADA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR, BRASIL



Fonte: MOBASA – setor SIG

a. Formação Rio do Rastro – também do Permiano Superior, esta unidade apresenta na sua porção inferior siltitos cinza-esverdeados entremeados por finas camadas de calcário e “*chert*”. Já na porção superior ocorre uma alternância de leitos de arenitos, siltitos e folhelhos avermelhados e arroxeados. Devido à complexidade litológica verificada na área sedimentar ocupada pelo Supergrupo Tubarão e pelo Grupo Passa Dois, os solos aí encontrados variam muito de um local para outro, mesmo em pequenas distâncias. Apesar disso, pode-se estabelecer alguma relação entre determinadas características dos solos e a natureza do material que

os originaram. Assim, solos argilosos relacionam-se, principalmente, com os argilitos e folhelhos siltico-argilosos; os de textura média estão relacionados com siltitos, folhelhos siltico-arenosos e arenitos muito finos; e os de textura arenosa relacionam-se com arenitos mais grosseiros. Por outro lado, solos rasos ou pouco profundos normalmente estão relacionados com rochas bem estratificadas, como é o caso dos xistos e dos folhelhos várvidos.

Enquanto a terceira área piloto está situada no Município de Tijucas do Sul, no Estado do Paraná, mais precisamente na divisa com o Estado de Santa Catarina.

Com relação aos estudos geomorfológicos pelo DNPM (1986), esta área pertence ao Domínio da Faixa de Dobramentos Remobilizados, na Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar e na Unidade do Planalto de São Bento do Sul, com uma área de 1.106 km² (PÖTTER et al., 2004). Ocorre, portanto, no extremo norte do Estado, junto à fronteira com o Paraná, entre a Serra do Mar e o Patamar de Mafra, tendo como principal centro urbano São Bento do Sul. O relevo é de formas colinosas, que localmente mostram certa concordância topográfica e parecem corresponder a restos de uma superfície de aplanamento. As cotas altimétricas estão entre 750 e 950m e as características gerais desta unidade se prolongam através do Estado do Paraná. Neste estado, os estudos de Theodorovicz et al. (1999), mostram que a presente área de trabalho ocorre no Primeiro Planalto Paranaense ou “Planalto de Curitiba”, mais precisamente sobre o “Embasamento Cristalino”. Segundo estes autores, o Primeiro Planalto corresponde aos terrenos sustentados por rochas graníticas intrusivas pouco ou não-deformadas, ou seja, rochas derivadas de magmas que se intrudiram e se cristalizaram em grandes profundidades da crosta terrestre, em ambientes de relativa calma tectônica. Admite-se que a idade desse magmatismo granítico aconteceu entre o Proterozóico Superior e o Cambriano, ou seja, entre 500 e 570 milhões de anos. Posteriormente, grandes deslocamentos, tanto horizontal quanto verticais, relacionados a processos tectônicos, soergueram e expuseram as rochas granitoides à erosão.

3.1.3 Solos

Para a identificação dos solos seguiu-se a seguinte metodologia: o primeiro passo constou da seleção de todo tipo de material existente sobre as três áreas pilotos de estudos, compreendendo desde a seleção de fotografias aéreas e mapas básicos em diferentes escalas até estudos gerais da região sobre os solos e matérias correlatas, tais como geologia, geomorfologia, clima e vegetação original. Ainda nessa etapa, contou-se com estudos de mapas planialtimétricos da empresa e da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG) e/ou do IBGE nas escala 1:50.000. Após o levantamento de todo material básico, efetuou-se, preliminarmente, a fotogrametria e fotointepretação das três áreas pilotos, delimitando-se as principais unidades fisiográficas (topos, terços superiores, médios e inferiores de encostas, várzeas etc.) nas fotografias aéreas pancromáticas, em escala 1:25.000. A seguir, foram iniciados os levantamentos pedológicos detalhados de campo, nas escalas 1:10.000, através de prospecções gerais, por todas as áreas objetos de estudos, por meio de tradagens (trado tipo holandês) até 1,20 m (1,50 m em alguns casos) ou através de estudos em barrancos de estradas expostos, a intervalos regulares de 40 a 50 hectares, permitindo aferir os limites pré-estabelecidos nas fotos aéreas e, possibilitando o ajuste da legenda preliminar.

Nessas prospecções teve-se o cuidado de registrar todas as variações referentes às classes de solos, incluindo, entre outras, a cor, textura, gradiente textural, tipo e espessura dos horizontes A e B, profundidade do *solum*, posição do solo na paisagem, forma e comprimento das vertentes, altura do lençol freático; profundidade efetiva dos solos (ocorrência de material rochoso) etc. Concomitantemente a essas observações, procedeu-se a identificação das classes de solos conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), tanto para o levantamento detalhado das referidas áreas quanto para as parcelas de inventário florestal contínuo (PIFC's).

Posteriormente, com as coletas de amostras para fins de análises químicas e granulométricas, em duas profundidades: uma superficialmente (0-20 cm) e outra

subsuperficialmente (30-50 cm), procurou-se definir os demais níveis categóricos do sistema, ou seja, até o sexto nível (EMBRAPA, 2006). As seguintes análises foram feitas: 1) químicas: pH (CaCl_2); fósforo disponível; K disponível; Al^{3+} ; $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$; carbono orgânico; $\text{H} + \text{Al}^{3+}$; soma de bases (SB); capacidade de troca catiônica (CTC); saturação por bases (V%) e saturação com alumínio (m%); 2) análises granulométricas: areia, silte e argila; 3) também foram coletadas amostras indeformadas com anéis de Kopeck, em algumas parcelas de inventários florestais, para fins de análises físico-hídricas.

As aquisições das informações de campo relevantes, tais como localização das observações e coletas de amostras de solos, foram feitas a partir da obtenção de coordenadas através de GPS. Cada unidade de mapeamento teve sua descrição completa, em termos de conceitos de unidades de solos, sua área e percentual de ocorrência (% de cada componente da legenda), além das indicações de variações de suas potencialidades e de suas limitações quer sejam de ordem química, física e ambiental. Por outro lado, de posse dos resultados analíticos das amostras de solos e com as observações de campo, procedeu-se ao ajuste final da legenda de identificação dos solos (Quadro 2).

Foi elaborado o mapa detalhado de solos apenas para a área piloto nº 1. A seguir, são detalhados os métodos de análises de solos do presente estudo:

3.1.3.1 Análises químicas, granulométricas e físico-hídricas

As amostras de solos coletadas foram enviadas para análises no Laboratório de Solos da Epagri, em Chapecó-SC. A descrição detalhada dos métodos utilizados nas análises para caracterização dos solos está contida no Manual de Métodos de Análise de Solos (EMBRAPA, 1997). As determinações foram feitas na terra fina seca ao ar, proveniente do fracionamento subsequente à preparação da amostra.

Os resultados de análises são referidos à terra fina seca a 105°C e são apresentados, juntamente com as outras informações das áreas pilotos no Anexo 2.

QUADRO 2 - LEGENDA DE IDENTIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS TRÊS ÁREAS PILOTOS, PROPRIEDADES DA MOBASA – SC

SÍMBOLO	UNIDADES DE MAPEAMENTO
PAC	ARGISSOLO ACINZENTADO Alumínico típico, textura média pesada ou argilosa, fase relevo ondulado a forte ondulado
CHa1	CAMBISSOLO HÚMICO Ta Alumínico típico, textura média pesada ou argilosa, fase relevo suave ondulado a ondulado.
CHa2	CAMBISSOLO HÚMICO Ta Alumínico léptico, textura média pesada ou argilosa, fase relevo suave ondulado a ondulado.
CHa3	CAMBISSOLO HÚMICO Ta Alumínico saprolítico, textura média pesada ou argilosa, fase relevo suave ondulado a ondulado.
CHag	CAMBISSOLO HÚMICO Ta Alumínico gleico, textura média pesada ou argilosa, fase relevo plano a suave ondulado.
CXa1	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Alumínico típico, textura argilosa.
CXa2	CAMBISSOLO HÁPLICO Ta Alumínico típico, textura média.
GXbe	GLEISSOLO MELÂNICO Alumínico típico, textura média pesada ou argilosa, fase relevo plano.
RRaH	NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico húmico, textura média ou argilosa, fase relevo suave a ondulado.
RRat	NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico típico, textura média ou argilosa, fase relevo suave a ondulado.
RLHt	NEOSSOLO LITÓLICO Alumínico húmico, textura média ou argilosa, fase relevo ondulado.

Excetuam-se as determinações e a expressão dos resultados de calhaus e cascalhos, areia grossa, areia fina e argila.

Análises químicas

- ✓ pH em água e CaCl_2 Mol/L – determinados potenciométricamente na suspensão solo-líquido de 1:2,5 com tempo de contato não inferior a uma hora e agitação da suspensão imediatamente antes da leitura.
- ✓ Carbono orgânico – determinado através da oxidação da matéria orgânica pelo bicromato de potássio 0,4 Mol/L em meio sulfúrico e titulação pelo sulfato ferroso 0,1 Mol/L.

- ✓ Fósforo assimilável – extraído com solução de HCl 0,05 Mol/L e H₂SO₄ 0,025 Mol/L (Carolina do Norte) e determinado colorimetricamente em presença do ácido ascórbico.
- ✓ Cálcio e magnésio trocáveis – extraídos com solução de KCl Mol/L na proporção 1:20, juntamente com o Al³⁺ extraível e, após a determinação deste, na mesma alíquota são determinados juntos Ca²⁺ e Mg²⁺ com solução de EDTA 0,0125 M;
- ✓ Ca²⁺ determinado em outra alíquota com solução de EDTA 0,0125 M; Mg²⁺ obtido por diferença.
- ✓ Potássio trocável – extraídos com solução de HCl 0,05 Mol/L na proporção 1:10 e determinados por fotometria de chama.
- ✓ Valor SB (soma de cátions trocáveis) – calculado pela fórmula:

$$SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+}$$

- ✓ Alumínio extraível – extraído com solução de KCl Mol/L na proporção 1:20 e determinado pela titulação da acidez com NaOH 0,025 Mol/L.
- ✓ Acidez extraível (H⁺ + Al³⁺) – extraída com solução de acetato de cálcio Mol/L ajustada a pH 7,0 na proporção 1:15, determinada por titulação com solução de NaOH 0,0606 Mol/L.
- ✓ Valor T (capacidade de troca de cátions CTC) – calculado pela fórmula:

$$\text{Valor T} = \text{Valor SB} + (H^{+} + Al^{3+}).$$
- ✓ Valor V (percentagem de saturação por bases) – calculado pela fórmula:

$$\text{Valor V} = 100 \times \text{Valor SB} / \text{Valor T}.$$

Análises granulométricas

Para a caracterização física do solo, foram realizadas as seguintes determinações:

- ✓ Calhaus e cascalhos – separados por tamisação, empregando-se peneiras de malha de 20mm e 2mm respectivamente, para a retenção dos calhaus e dos cascalhos nesse fracionamento inicial da amostra total, previamente preparada mediante secagem ao ar e destorroamento.

- ✓ Terra fina – separada por tamisação, no mesmo fracionamento comum à determinação anterior, recolhendo-se o material mais fino passado em peneira de malha de 2mm (furos circulares).
- ✓ Composição granulométrica – dispersão com Calgon (hexametáfosfato de sódio 4,4%), em substituição ao NaOH, como dispersante, e agitação de alta rotação durante quinze minutos. Areia grossa e areia fina separadas por tamisação em peneiras de malha de 0,2mm e 0,053mm respectivamente. Argila determinada pelo método da pipeta. Silte obtido por diferença. Não é usado o pré-tratamento para eliminação da matéria orgânica. Quando indicado foi usado o calgon.

Análises Físico-Hídricas

As análises físico-hídricas do solo foram realizadas com as amostras indeformadas, obtidas por anéis volumétricos de Kopecky (Figura 7), obtidas a partir de cinco amostras por parcela de estudo, sendo três repetições para a camada entre 5-15 cm e duas repetições para a camada entre 30-40 cm da superfície do solo.

A retenção de umidade foi feita em panela de pressão/aparelho de Richard para as tensões de 0,006 Mpa (0,06 kPa); 0,01 Mpa (0,1 kPa) (capacidade de campo); 0,1 Mpa (100 kPa) e 1,5 Mpa (1.500 kPa) (ponto de murcha permanente). A densidade do solo (D_{ap}) foi obtida pelo método do anel de Kopecky. A densidade de partículas (D_r) pelo método do balão volumétrico e álcool etílico. E, por conseguinte, os parâmetros da porosidade pelas equações (1, 2 e 3), conforme EMBRAPA (1997):

$$\text{Porosidade Total (\%)} = \frac{100 * (D_r - D_{ap})}{D_r} \quad (1)$$

$$\text{Microporos (\%)} = 100 * \frac{(\text{peso amost. À 0,06 Mpa}^* - \text{peso amost. Seca à 105°C})}{\text{volume do anel de Kopecky}} \quad (2)$$

$$\text{Macroporos (\%)} = \text{porosidade total} - \text{microporosidade} \quad (3)$$

em que: D_r = Densidade de partículas ou real

D_{ap} = Densidade do solo ou aparente

*0,006 Mpa = corresponde à tensão que separa os microporos dos macroporos

FIGURA 7 - COLETA DAS AMOSTRAS INDEFORMADAS COM OS ANÉIS VOLUMÉTRICOS



Portanto, a porosidade de aeração foi estabelecida como o volume de poros livres de água entre porosidade total e a capacidade de campo. A macroporosidade refere-se a quantidade de poros maiores que 5 mm, sendo o volume de poros livres de água compreendidos entre a porosidade total e a tensão de 6 kPa. A água disponível foi estabelecida como o volume de água compreendido entre as tensões de 10 e 1500 kPa. Quanto aos critérios para a interpretação dos resultados, a retenção de água, ou seja, a capacidade do potencial de água disponível foi estimada em função dos valores de umidade à tensão de 0,01 Mpa (capacidade de campo) e a 1,5 Mpa (ponto de murcha permanente), sendo os dados expressos em percentagem por volumetria, de modo a facilitar comparações com outros dados, inclusive com porosidade e também para fins interpretativos, conforme equação (4), elaborada por Thornthwaite e Mather (1955):

$$CAD = [\rho_a * H * (0,01Mpa - 1,5Mpa) / 10] \quad (4)$$

CAD = Capacidade de armazenamento potencial disponível de água no solo (mm)

ρ_a = densidade do solo ($Mg.dm^{-3}$);

H = profundidade explorada pelo sistema radicular das espécies (cm);

0,01Mpa = tensão de umidade do solo na capacidade de campo (%);

1,5 Mpa = corresponde à tensão de umidade do solo no ponto de murcha permanente (%);

(0,01Mpa – 1,5Mpa) = Água disponível para as plantas (ADISP).

3.1.4 Clima

Na análise dos elementos climáticos, conforme Quadros 1, 2 e 3 (Anexo 3), foram utilizados dados referentes a três estações meteorológicas localizadas nos municípios em estudo ou nos municípios mais próximos aos locais de trabalho (AGRITEMPO, 2006). Além disso, também foram coletados dados climáticos de duas estações meteorológicas da MOBASA próximas às áreas pilotos, uma estação da EPAGRI e outra, automatizada, localizada nas proximidades da área piloto nº 1. No que tange, portanto, aos elementos climáticos têm-se para as áreas de estudos:

- ✓ Precipitação: a região, como um todo, caracteriza-se por possuir elevada pluviosidade, chuvas bem distribuídas durante o ano e por não ter estação seca definida. O valor médio da precipitação anual no município de Curitiba – PR é de 1.419 mm, enquanto que no município de Rio Negrinho é de 1.726 mm e de 1.620 mm para o município de Lages-SC.
- ✓ Temperatura: na região a temperatura é condicionada de forma acentuada pela altimetria, assim como pela ação das massas polares, pela latitude e continentalidade. As médias anuais de temperaturas mais elevadas ocorrem na região da “Área Piloto nº 3”, enquanto que as médias das temperaturas mais baixas ocorrem na região do Planalto de Lages, nas proximidades da “Área Piloto nº 2”. A temperatura máxima média do trimestre mais quente (janeiro/fevereiro/março) alcança 28,4°C no município de Rio Negrinho, 29,0°C, em Curitiba – PR, e 28,7°C no município de Lages – SC. Já a temperatura mínima média do trimestre mais frio é de 9,3°C em Rio Negrinho, 9,2°C em Curitiba – PR e os menores valores (8,0°C) para o município de Lages – SC. Junho, julho e agosto são os meses mais frios em toda a região de estudo, ao passo que o trimestre mais quente é janeiro, fevereiro e março.

De acordo com os dados analisados, verifica-se que a região enquadra-se no Grupo C – Mesotérmico, da classificação climática de Köppen, visto que as temperaturas médias do mês mais frio estão abaixo de 18°C e acima de -3°C. Por outro lado, observa-se que a temperatura média do mês mais quente é, para os três locais, superior a 22°C, caracterizando o clima *Cfa*, ou seja, clima tropical, com verão quente, sem estação seca de inverno.

3.2 OBTENÇÃO DOS DADOS E DESCRIÇÃO DAS VARIÁVEIS

As variáveis foram estabelecidas a partir do levantamento de solos detalhados das três áreas-pilotos, além das avaliações químicas, físicas, físico-hídricas e morfológicas de perfis de solos, utilizando-se duas profundidades de coletas comuns (0-20 e 30-50 cm). As informações relativas aos dados de produção (crescimento) foram obtidas junto ao Setor de Inventário Florestal da MOBASA. O Quadro 3 apresenta os grupos de variáveis estudadas no presente trabalho.

A variável utilizada para caracterizar a qualidade do sítio de cada povoamento foi o Índice de Sítio (IS) dado pela altura dominante (HDOM) aos 15 anos de idade. Como as idades de medições dos povoamentos variaram de 11 a 15 anos, todas as alturas dominantes foram projetadas para 15 anos de idade através da equação disponível do software “SISPINUS” (OLIVEIRA, 1995), dada por:

$$IS = HDOM \times e^{4,6433 \{[(1/I)^{0,56}] - 0,2195\}}$$

Note-se que para os povoamentos que possuíam medições em mais de uma idade, apenas a idade mais avançada foi utilizada nos cálculos.

3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

3.3.1 Análise de Trilha

A análise de trilha consistiu no estudo dos efeitos diretos e indiretos das características explicativas sobre a variável básica principal, cujas estimativas foram

QUADRO 3 - VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO E SEUS RESPECTIVOS SÍMBOLOS

SÍMBOLOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE
VARIÁVEIS DE LOCALIZAÇÃO		
MUNICIP	Município onde se situa a Fazenda	Ad
FAZENDA	Propriedade da Mobasa	Ad
PARCELA	Parcela de Inventário Florestal Contínuo	Ad
VARIÁVEIS DE POSIÇÃO		
PROEFE	Profundidade Efetiva (soma horiz. A+B) do Perfil Solo	cm
LENFRE	Altura Estimada do Lençol freático	cm
SITUA	Posição na Encosta (relevo)	Ad
DECLIVE	Percentual de Declive Efetuado por Clinômetro	%
ALT	Altitude do local	m
GEOLOG	Material de origem geológica	Ad
VARIÁVEIS FÍSICAS		
ARG1	Teor de argila na camada 0 – 20 cm	%
ARG2	Teor de argila na camada 30 – 50 cm	%
SILTE1	Teor de silte na camada 0 – 20 cm	%
SILTE2	Teor de silte na camada 30 – 50 cm	%
AREIA1	Teor de areia na camada 0 – 20 cm	%
AREIA2	Teor de areia na camada 30 – 50 cm	%
VARIÁVEIS QUÍMICAS		
PHCaCl	pH em CaCl ₂ Mol/L : 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	Ad
P	Teor de fósforo disponível: 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	mg dm ⁻³
K	Teor de potássio trocável: 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	cmol _c dm ⁻³
MO	Teor de matéria orgânica: 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	%
AL	Teor de Alumínio trocável: 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	cmol _c dm ⁻³
HAL	Soma dos teores de (H ⁺ + Al ³⁺): 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	cmol _c dm ⁻³
SB	Soma de Bases Trocáveis: 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	cmol _c dm ⁻³
CTC	Capacidade Troca de Cátions: 1 (0-20c); 2 (30-50 cm)	cmol _c dm ⁻³
V	Saturação por Bases: 1 (0-20cm); 2 (30-50 cm)	%

-continua-

QUADRO 3 - VARIÁVEIS UTILIZADAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO E SEUS RESPECTIVOS SÍMBOLOS

-conclusão-

SÍMBOLOS	DESCRIÇÃO	UNIDADE
VARIÁVEIS FÍSICO-HÍDRICAS		
DENSID	Densidade do Solo	Mg dm ⁻³
KPA_6	Microporosidade do solo: KPA1_6 = 10-20cm; KPA2_6 = 40-50cm	cm ³ cm ⁻³
KPA_10	Capacidade de campo: KPA1_10 = 10-20cm; KPA2_10 = 40-50cm	cm ³ cm ⁻³
KPA_100	Retenção de umidade a 100 kPa: KPA1_100 = 10-20cm; KPA2_100 = 40-50cm	cm ³ cm ⁻³
KPA_1500	Ponto de murcha permanente: KPA1_1500 = 10-20cm; KPA2_1500 = 40-50cm	cm ³ cm ⁻³
UATUAL	Potencial de água na condição de coleta das amostras: UATUAL1: 10 cm; UATUAL2 = 40-50 cm de profundidade.	cm ³ cm ⁻³
ADISP	Potencial de água que pode ser disponível: ADISP1: 10 cm; ADISP2 = 40-50 cm de profundidade.	cm ³ cm ⁻³
MACRO	Macroporosidade do solo: MACRO1 = 10 cm; MACRO2 = 40 - 50cm de profundidade.	%
PORTOT	Porosidade total: PORTOT1 = 10 cm; PORTOT2 = 40-50 cm de profundidade.	%
VARIÁVEL DE CRESCIMENTO		
IS_15	Índice de Sítio, dado pela HDOM aos 15 anos de idade	m
HDOM	Altura Dominante das 10 maiores árvores	m
HMED	Altura Média das Árvores da Parcela de Inventário	m
DAPMED	Diâmetro à Altura do Peito	cm

* Ad = Adimensional

obtidas por meio de equações de regressão, previamente padronizadas (CRUZ, 1990; CRUZ; REGAZZI e CARNEIRO, 2004). Neste sentido, o desdobramento do coeficiente de correlação foi realizado pela análise de trilha desenvolvida por Wright (1921 e 1923) e pormenorizada por Li (1975), citados por Cruz, Regazzi e Carneiro (2004). A padronização dos dados foi executada através da seguinte equação:

$$\mu_i = \frac{\bar{X}_i - \bar{X}}{\delta x}$$

em que,

μ_i : variável padronizada;

$\bar{X}_i - \bar{X}$: desvio de cada observação em relação à média;

δx : desvio padrão da amostra.

A variável básica Y , considerada neste estudo como as variáveis dependentes (HMED, HDOM e IS), se correlacionam com as variáveis explicativas (X_1, X_2, \dots, X_n) por meio do seguinte modelo (LI, 1975):

$$\bar{Y}_i - Y = b_{01} (\bar{X}_1 - X_1) + b_{02} (\bar{X}_2 - X_2) + \dots + b_{0n} (\bar{X}_n - X_n) + E \quad (3)$$

em que:

Y_i : variável principal (variáveis de crescimento);

\bar{Y} : média da variável principal;

X_1, X_2, \dots, X_n : variáveis explicativas;

$\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, \bar{X}_n$: médias das variáveis explicativas;

$b_{01}, b_{02}, \dots, b_{0n}$: coeficientes de regressão parcial;

E : variável residual.

Dessa forma, a análise de trilha constitui-se numa expansão da regressão múltipla quando são envolvidas inter-relações complexas. As variáveis X_i foram representadas por variáveis físicas, químicas e físico-hídricas do solo, relevo, fisiografia, geologia e clima (Quadro 3).

Assim, procurou-se avaliar qual o grupo de variáveis que mais explicava as variações de Y_i (crescimento e ou produtividade) e, dentro de cada grupo, quais as variáveis de maior importância em termos de efeitos diretos e indiretos, sobre o crescimento.

A partir do modelo (3) obtém-se o coeficiente de determinação que mede o efeito das variáveis explicativas (X_1, X_2, \dots, X_n) sobre Y . Permite ainda, determinar o efeito residual que mede a influência do conjunto de variáveis não incluídas no modelo (3).

O efeito da variável residual (E), segundo Li (1975), é utilizado como referencial para verificar se os efeitos diretos ou indiretos das variáveis explicativas sobre o crescimento (Y) devem ou não ser considerados no estudo. Se o coeficiente de trilha de uma determinada variável explicativa (que expressa seu efeito direto e indireto sobre (Y) for numericamente menor que o coeficiente da variável residual, significa que esta variável independente deve explicar mudanças no crescimento (variável principal) apenas indiretamente). Em outras palavras, esta variável por si só não é capaz de explicar diferenças no crescimento e ou produtividade. Ela pode ser importante apenas quando analisada em conjunto com outras variáveis. Um coeficiente de trilha numericamente maior do que o coeficiente da variável residual demonstra que existe efeito direto da variável explicativa sobre a variável principal.

3.3.2 Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais é semelhante às análises de correlações canônicas, pois envolve a combinação linear de variáveis, baseada na maximização da variância das variáveis observadas. A análise de componentes principais foi executada com base na matriz de correlação. Para determinar o número de componentes principais retidos na análise se utilizaram dois critérios: Critério de Kaiser (KAISER, 1958), que sugere manter na análise as componentes principais correspondentes aos autovalores maiores que 1, se for usada a matriz de correlação; e reter o número de componentes principais que acumulem pelo menos certa porcentagem da variabilidade total dos dados, de preferência, acima de 70% (JOHNSON e WICHERN, 1998). A ACP foi utilizada como uma análise intermediária à análise de regressão múltipla, à análise de agrupamento e à análise de fatores. A interpretação das componentes principais foi realizada com base nas correlações entre as variáveis originais e as componentes obtidas.

3.3.3 Análise Fatorial

A análise fatorial objetivou descrever a variabilidade original total dos dados, em termos de variáveis aleatórias, chamadas de fatores comuns. Neste modelo, maior parte da variabilidade dos dados (variância acumulada superior a 70%) foi atribuída aos fatores comuns e o restante da variabilidade foi atribuído ao erro aleatório (MINGOTI, 2005). Os modelos de análise fatorial buscam explicar o comportamento das variáveis observadas em relação ao comportamento de um conjunto de variáveis não observadas (variáveis latentes ou fatores), podendo ser expresso por:

$$X_j = \sum_{r=1}^p a_{jr} f_r + e_j$$

em que,

X_j : variáveis originais;

p : número de fatores;

a_{jr} : coeficiente que representa o carregamento da j -ésima variável sobre o r -ésimo fator;

f_r : r -ésimo fator;

e_j : variação casual.

As variáveis foram expressas em termos de vetores num sistema de coordenadas ortogonais, em que o comprimento representa a magnitude e que se agrupam conforme seu relacionamento. Por esses agrupamentos de vetores passam-se eixos, denominados fatores, que acusam, pelo valor da projeção dos vetores sobre os eixos, a carga fatorial das variáveis sobre si. Esses fatores representam o número mínimo de causas que condicionam um máximo de variabilidade existente.

A retenção de variáveis na análise fatorial foi determinada pela comunalidade (representada por h^2), isto é, a soma dos quadrados das cargas fatoriais das variáveis sobre cada fator, que indica a eficiência dos mesmos na explicação da variabilidade total (LUCHESA, 2004). Variáveis com comunalidades

inferiores a 0,7 foram descartadas. Uma das dificuldades resultantes deste procedimento é que o padrão de carregamento para cada componente pode não fornecer dimensões facilmente interpretáveis. Neste sentido, houve necessidade de uma rotação dos eixos fatoriais. A finalidade dessa rotação é a maximização, colocando os eixos fatoriais numa única posição tal que cada fator possa ser interpretado pelos maiores carregamentos possíveis, relacionados com o menor número de variáveis possível (BARROSO e ARTES, 2003)

A maximização da variância dos carregamentos sobre os fatores foi obtida pela rotação dos eixos fatoriais, utilizando-se o critério “Varimax” (KAISER, 1958). Esse método minimiza o número de variáveis, com altas cargas sobre o fator, reforçando a interpretação dos mesmos (HAIR et al., 1998).

3.3.4 Análise de Agrupamento

A análise de agrupamento é definida como sendo o processo de arranjar séries de dados em sub-séries, de tal maneira que os dados de uma sub-série tenham alto grau de homogeneidade, comparados aos dados de sub-séries diferentes (HINZ, 1975). Esta análise, também chamada de análise de segmentação ou análise taxonômica, é obtida a partir de um conjunto de técnicas de partição de um conjunto de objetos em subconjuntos menores e, relativamente homogêneos, baseado na similaridade entre os objetos. As medidas de similaridade baseiam-se no conceito, essencialmente, na obtenção de grupos em que as variações ou distâncias entre os objetos, em um mesmo grupo, sejam mínimas e entre os objetos, em distintos grupos, sejam máximas (KACHIGAN, 1988; JOHNSON e WICHERN, 1998).

Segundo Barroso e Artes (2003), as técnicas de agrupamento ou *clusters* são freqüentemente classificadas em dois tipos: técnicas hierárquicas e não hierárquicas, sendo que as hierárquicas são classificadas em aglomerativas e divisivas. As técnicas hierárquicas, na maioria das vezes, são utilizadas em análises exploratórias dos dados com o intuito de identificar possíveis agrupamentos e o valor provável do número de grupos, como no presente estudo. Já para o uso de

técnicas não hierárquicas, é necessário que o valor do número de grupos já esteja pré-estabelecido pelo pesquisador.

Dentro deste contexto, no primeiro passo, foram utilizados os métodos de agrupamentos hierárquicos. Como se recomenda que deva ser seguida por aplicadores das técnicas de agrupamento, na medida do possível, a utilização de mais de um método sobre um mesmo conjunto de dados (BARROSO e ARTES, 2003), então se adotou:

a) Método da Média das Distâncias (*Average Linkage*)

Este método trata a distância entre dois conglomerados como a média das distâncias entre todos os pares de elementos que podem ser formados com os elementos dos dois conglomerados, que estão sendo comparados. Portanto, se o conglomerado C_1 tem n_1 elementos e o conglomerado C_2 tem n_2 elementos, a distância entre eles será definida por:

$$d(C_1, C_2) = \sum_{i \in C_1} \sum_{k \in C_2} \left(\frac{1}{n_1 n_2} \right) d(X_i, X_k)$$

b) Método do Centróide (*Centroid Method*)

Este método define as coordenadas de cada grupo como sendo a média das coordenadas de seus objetos. Uma vez obtidas essas coordenadas, denominadas centróides ou vetores de médias, dos grupos que estão sendo comparados, a distância entre dois grupos é obtida através do cálculo das distâncias entre os centróides (MINGOTI, 2005; BARROSO e ARTES, 2003). O método do centróide também pode ser usado com a distância Euclidiana usual entre os vetores de médias. Em cada passo do algoritmo do agrupamento, os conglomerados que apresentam o menor valor de distância é agrupado.

c) Método do Vizinheiro mais Longe (Método de *WARD*)

A partição desejada é aquela que produz grupos os mais heterogêneos possíveis entre eles e de forma que os elementos dentro de cada grupo sejam

homogêneos (MINGOTI, 2005; BARROSO e ARTES, 2003). Isso significa que a variação entre grupos diminui e a variação dentro dos grupos aumenta. Ward (1963) propôs um método de agrupamento que é fundamentado justamente nesta “mudança de variação” entre os grupos e dentro dos grupos que estão sendo formados em cada passo do agrupamento. Seu procedimento é também chamado de “Mínima Variância” e fundamentam-se nos seguintes princípios: a) inicialmente, cada elemento é considerado como um único conglomerado; b) em cada passo do algoritmo de agrupamento calcula-se a soma de quadrados dentro de cada conglomerado. Esta soma é o quadrado da distância Euclidiana de cada elemento amostral pertencente ao conglomerado em relação ao correspondente vetor de médias do conglomerado, isto é:

$$SS_i = \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X}_i)(X_{ij} - \bar{X}_i)$$

onde, n_i é o número de elementos no conglomerado C_i quando se está no passo k do processo de agrupamento; X_{ij} , é o vetor de observações do j ésimo elemento amostral que pertence ao i ésimo conglomerado; \bar{X}_i é o centróide do conglomerado C_i ; e SS_i representa a soma de quadrados correspondente ao conglomerado C_i . No passo k , a soma de quadrados total dentro dos grupos é definida como:

$$SSR = \sum_{i=1}^{g_k} SS_i$$

onde g_k é o número de grupos existentes quando se está no passo k . A distância entre os conglomerados C_1 e C_i é, então, definida como:

$$d(C_1, C_i) = \left[\frac{n_1 n_i}{n_1 + n_i} \right] (\bar{X}_1 - \bar{X}_i)' (\bar{X}_1 - \bar{X}_i)$$

que é a soma de quadrados entre os clusters C_1 , C_i . Em cada passo do algoritmo de agrupamento, os dois conglomerados que minimizam a distância são combinados.

O segundo passo, portanto, foi o do uso de técnicas de agrupamento propriamente dita, com o objetivo de reunir as PIFC's em grupos homogêneos a fim de se fazer comparações com as classes de solos, do primeiro ao quarto níveis, segundo o sistema brasileiro de classificação (EMBRAPA, 2006). O objetivo

principal foi verificar se a identificação da classe de solo permite se fazer inferências sobre a capacidade preditiva desta espécie florestal. Os grupos assim formados são mutuamente exclusivos, em razão da subdivisão do grupo original em sub-grupos não vazios, cuja interseção é nula e a união reconstitui o conjunto total (CRUZ, 1990).

3.3.5 Regressão Linear Múltipla

A regressão linear múltipla é uma metodologia da análise estatística que utiliza as relações entre duas ou mais variáveis quantitativas de tal forma que uma variável pode ser predita a partir de outras (LAVORANTI, 2005).

A análise de regressão múltipla, no presente estudo, foi tratada através do modelo linear geral:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_p X_{pi} + \varepsilon_i$$

em que: Y_i : valor observado da variável resposta (dependente) Y no nível i das variáveis preditoras (independentes) X_i 's;

β_0 : constante de regressão (intercepto da equação de regressão com o eixo y);

β_1 : coeficiente de regressão (variação de Y em função da variação de uma unidade de X_1);

β_2 : coeficiente de regressão (variação de Y em função da variação de uma unidade de X_2);

β_p : coeficiente de regressão (variação de Y em função da variação de uma unidade de X_p);

X_{1i} : valor da variável X_1 , no nível i ;

X_{2i} : valor da variável X_2 , no nível i ;

X_{pi} : valor da variável X_p , no nível i ;

ε_i : erro ou desvio associado a distância entre o valor observado Y_i e o valor estimado \hat{Y}_i com base na equação de regressão.

Como o coeficiente de determinação sempre aumenta com a inclusão de novas variáveis independentes na equação, mesmo que elas não tenham nenhuma relação com

a variável dependente, utilizou-se o coeficiente de determinação corrigido para os graus de liberdade, definido por Ribeiro Júnior (2001):

$$R^2_{\text{ajustado}} = \bar{R}^2 = R^2 - \frac{p}{n-p-1}(1-R^2)$$

em que, p : número de coeficiente de regressão (não inclui o β_0).

Na prática tem-se uma grande quantidade de regressoras que podem estar influenciando na resposta. Assim, utilizou-se o procedimento Seleção por Etapas (“*The stepwise regression procedure*”), para a seleção do melhor modelo de regressão. Este procedimento determina que a seleção da primeira variável a entrar no modelo é variável X mais correlacionada com a resposta Y, e posteriormente, através dos maiores coeficientes de determinação parcial de todas as variáveis não incluídas no modelo. Ajusta-se o modelo incluindo a última variável selecionada e determinam-se os testes F parciais. Por esse procedimento, qualquer variável que originar uma contribuição não-significativa (F parcial) é removida do modelo. Este processo continua até que nenhuma outra variável seja admitida no modelo e nenhuma outra seja retirada (LAVORANTI, 2005).

O diagnóstico dos modelos de regressão foi realizado mediante os seguintes pressupostos (SILVA, 2003; PEÑA e HUERTA, 1993):

Linearidade – verifica a relação entre as variáveis preditoras e as variáveis dependentes, de modo que todos os dados das variáveis dependentes e independentes sejam padronizados com média igual zero e variância igual à unidade.

Normalidade – verifica se os erros são normalmente distribuídos. O teste de Shapiro-Wilks, mostra se os erros foram identicamente e independentemente distribuídos para as variáveis incluídas no modelo escolhido.

Por outro lado, o uso da *análise de resíduos* é feito para se verificar:

- a) adequacidade do modelo;
- b) comportamento da variância de cada variável independente incluída no modelo;
- c) presença de dados discrepantes;
- d) normalidade dos erros e
- e) tendenciosidade nas estimativas.

Análise de resíduos – os resíduos são definidos como as “n” diferenças:

$$\hat{\epsilon}_i = \hat{Y}_i - Y_i, \text{ em que:}$$

$\hat{\epsilon}_i$: erros estimados para cada modelo selecionado;

\hat{Y}_i : valores estimados da variável dependente;

Y_i : valores observados.

3.4 ANÁLISES GEOESTATÍSTICAS

A idéia central é o de se obter mapas que espacializem o comportamento de uma variável de interesse na área piloto nº 1, através de predições em locais não amostrados. Inicialmente, foi realizada a exploração do conjunto de dados, através de análises estatísticas simples, com a determinação de medidas de posição (média e mediana) e dispersão (valores máximos, mínimos, variância, desvio padrão, coeficientes de variação etc.) e forma (gráfico de probabilidade normal, coeficientes de simetria e curtose).

A estimativa da variável de interesse, neste caso, considerada como variável principal, ou primária, o Índice de Sítio (IS) de *P. taeda* a partir de variáveis suportes ou secundárias foi feita pelo método da Co-krigagem multivariada onde se procurou selecionar as variáveis explicativas que se destacaram nas análises estatísticas multivariadas obtidas pelas Análises de Componentes Principais e de Fatores utilizando-se para isto, o método de interpolação de dados por Co-krigagem Ordinária, sendo que, neste caso, a análise exploratória de dados e a cartografia elaborada foram realizadas no software SIG – ArcView 9.1 com as extensões *Geostatistical* e *Spatial Analyst*. Todos os modelos testados foram comparados e avaliados por validação cruzada, com o objetivo de saber qual o mais apropriado nas situações estudadas.

A aplicação desta metodologia foi possível devido ao evidente e significativo grau de correlação entre as variáveis físico-hídricas com o “IS” nos mesmos locais dentro do mesmo domínio espacial, ou seja, na Área Piloto nº 1. Trata-se de uma ferramenta geoestatística que vem sendo cada vez mais utilizada em diversas situações de estimativa ou de modelagem, existindo à disposição diversos programas (CARR, MYERS e GLASS, 1985; YATES e YATES, 1990; MARCOTTE, 1991; DEUTSCH e JOURNAL, 1992, entre outros). No presente caso, foi utilizado o software Arc View 9.1 – módulo *Geostatistical* para a elaboração dos mapas via “*cokrigagem ordinária*”, para estimar valores, Z_2^* , para qualquer local, x_0 . Assim, o valor estimado foi obtido da combinação linear de ambos Z_1 e Z_2 , ou seja:

$$Z^*_2(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i} z_1(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_{2j} z_2(x_{2j})$$

onde N_1 e N_2 são os números de vizinhos de Z_1 e Z_2 , respectivamente, λ_1 e λ_2 são os pesos associados a cada valor de Z_1 e Z_2 .

Tomando $z_1(x_{1i})$ e $z_2(x_{2j})$ como sendo uma realização das funções aleatórias $Z_1(x_{1i})$ e $Z_2(x_{2j})$, respectivamente e, assumindo estacionaridade de ordem 2, o estimador pode ser reescrito em:

$$Z^*_2(x_0) = \sum_{i=1}^{N_1} \lambda_{1i} Z_1(x_{1i}) + \sum_{j=1}^{N_2} \lambda_{2j} Z_2(x_{2j})$$

Esta equação expressa que a estimativa da variável Z_2 deverá ser uma combinação linear de ambos Z_1 e Z_2 , com os pesos λ_1 e λ_2 distribuídos de acordo com a dependência espacial de cada uma das variáveis entre si e a correlação cruzada entre elas. As estimativas da variável principal “IS”, calculadas através dos métodos de interpolação, foram avaliadas por determinação dos erros cometidos no processo de estimação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DE ESTUDOS

Inicialmente, foram realizadas as análises estatísticas descritivas para o conjunto das variáveis dependentes, obtidas das parcelas de inventário florestal permanente, provenientes de povoamentos de *P. taeda* em cinco diferentes idades.

A Tabela 1 apresenta uma comparação de 86 dados inventariados entre as três áreas pilotos estudadas, num período de cinco anos, com idades semelhantes. Para o conjunto dos dados estratificados por área piloto, encontraram-se as seguintes estatísticas descritivas:

a) **Área piloto 1:** foi encontrada uma amplitude diamétrica de 11,3 cm, variando entre 13,2 cm a 24,5 cm com uma média de DAP de 18,5 cm. O desvio padrão foi de 2,5 cm. Com relação à altura média das árvores das parcelas, encontrou-se uma amplitude de 9,5 m a 19,5 m com uma média geral de 15,2 m. O desvio padrão foi de 2,18 m. Já a altura dominante apresentou uma amplitude variando de 9,9 m a 22,8 m com uma média geral de 16,0 m e um desvio padrão de 2,35 m. Enquanto para a variável do Índice de Sítio aos 15 anos de idade “IS_15”, a média foi de 17,0 m.

b) **Área piloto 2:** foi encontrada uma amplitude diamétrica de 3,44 cm, variando entre 21,5 cm a 25,0 cm com uma média de DAP de 23,9 cm. O desvio padrão foi de 1,0 cm. Com relação à altura média das árvores das parcelas, encontrou-se uma amplitude de 16,5 m a 18,9 m com uma média geral de 17,6 m. O desvio padrão foi de 0,64 m. Já a altura dominante apresentou uma amplitude variando de 16,2 m a 19,5 m com uma média geral de 17,8 m e um desvio padrão de 0,83 m. Nota-se que para esta área de estudo, houve poucas diferenças nas variáveis relativas ao crescimento do *P. taeda*. Enquanto para a variável do Índice de Sítio aos 15 anos de idade “IS_15”, a média foi de 19,4 m. Este local é bem homogêneo quanto às características do meio físico (material geológico, relevo, solo etc.).

TABELA 1 - DADOS DE PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO DE *P. taeda* DAS TRÊS ÁREAS PILOTOS (AP), OBJETOS DESTE ESTUDO

Variáveis (Yi)	AP 1 – Rio Negrinho – SC	AP 2 – Bocaina do Sul – SC	AP 3 – Tijuca do Sul – PR
HMED (m)	15,2	17,6	19,1
HDOM (m)	16,0	17,8	19,8
DAPMED (cm)	18,5	23,9	21,9
IS_15 (m)	17,0	19,4	20,9

c) **Área piloto 3:** foi encontrada uma amplitude diamétrica de 4,68 cm, variando entre 20,2 cm a 24,9 cm com uma média de DAP de 21,9 cm. O desvio padrão foi de 1,44 cm. Com relação à altura média das árvores das parcelas, encontrou-se uma amplitude de 16,5 m a 22,2 m com uma média geral de 19,1 m. O desvio padrão foi de 1,62 m. Já a altura dominante apresentou uma amplitude variando de 16,7 m a 23,2 m com uma média geral de 19,8 m e um desvio padrão de 1,82 m. Também denotando uma menor amplitude, tanto do DAP, quanto das alturas médias e dominantes quando comparada com a área piloto nº 1. Enquanto para a variável do Índice de Sítio aos 15 anos de idade “IS_15”, a média foi de 20,9m, superando as outras duas Áreas Pilotos do presente estudo.

Após a realização da estatística descritiva dos dados, procurou-se verificar com que intensidade se manifesta uma associação entre duas ou mais variáveis. Portanto, a finalidade desta análise foi observar a tendência de associação entre as variáveis principais (dependentes) e as explicativas (independentes), onde se podem constatar as influências das características do meio físico no crescimento de *P. taeda*, através de outras técnicas mais avançadas de análises estatísticas, conforme descrições a seguir.

4.2 EFEITO DAS VARIÁVEIS GRANULOMÉTRICAS E FÍSICO-HÍDRICAS DOS SOLOS SOBRE O CRESCIMENTO DE *P. taeda*

Os dados de granulometria dos solos e de crescimento das árvores de *P. taeda* das parcelas amostradas estão apresentados na Tabela 2, estando os mesmos, classificados em ordem decrescente de acordo com os valores de Índices de Sítios aos 15 anos de idade para o *P. taeda* (IS_15).

Nesta Tabela 2, verifica-se que os teores de matéria orgânica variaram entre 40 e 650 g kg⁻¹ para as camadas superficiais e de 10 e 110 g kg⁻¹ para as camadas subsuperficiais das parcelas de inventário florestal, enquanto os índices de sítios (IS_15), variaram de 17,4 m a 23,2 m para estas mesmas parcelas analisadas. Observa-se claramente, uma tendência de menores teores de matéria orgânica para maiores valores de IS_15, além de maiores valores destes índices de sítios nas parcelas situadas no município de Tijucas do Sul/PR.

Neste município paranaense, predominam solos derivados de rochas graníticas, as quais dão origens a solos argilosos e cascalhentos com predomínio de argilas de baixas atividades e com pequenos teores de matéria orgânica superficial. Já na região do município Rio Negrino, SC, predominam solos derivados de arenito ou de folhelho, dando origens a solos de textura média a argilosa sem presença de cascalho, com predomínio de argila de alta atividade, sendo ainda comum, solos com elevados teores de matéria orgânica superficial até pelo menos 50 cm de espessura.

É clássica a relação entre a matéria orgânica do solo com sua capacidade de retenção d'água. Também aqui, os dados confirmam esta relação. O gráfico da Figura 8 mostra correlações altas e positivas entre a matéria orgânica e a água disponível nos solos, tanto para os dados das camadas superficiais ($r = 0,88$), quanto para os das camadas subsuperficiais ($r = 0,76$) dos solos estudados.

Como se trata de regiões com altos índices pluviométricos, supõe-se que maiores quantidades de água são retidas pela matéria orgânica, tanto nas camadas

TABELA 2 - DADOS DE GRANULOMETRIA (g kg^{-1}) E MATÉRIA ORGÂNICA (g kg^{-1}) DOS SOLOS DAS PARCELAS COM ÁRVORES DE *P. taeda*, CLASSIFICADOS POR ORDEM DECRESCENTE DE ÍNDICES DE SÍTIOS (m), NOS MUNICÍPIOS DE TIJUCAS DO SUL/PR E RIO NEGRINHO/SC

Município	Fazenda	Parcela	IS_15 (m)	Argila	Silte	Areia	Matéria Orgânica	Argila	Silte	Areia	Matéria Orgânica
Profundidade			5 a 10 cm				35 a 40 cm				
Tijucas do Sul	7	7c	23,2	468	231	301	180	491	236	273	50
	8	7b	22,9	379	255	366	40	379	278	343	10
	8	4	22,2	390	207	403	160	514	159	327	70
	8	9b	22,0	443	154	403	190	458	172	370	90
	8	1	21,9	404	318	278	110	432	307	261	110
	8	5	21,9	365	175	460	70	465	150	385	90
	7	10	21,2	511	239	250	260	536	236	228	90
	7	6	21,0	419	203	378	100	399	230	371	90
	7	1b	20,5	511	181	308	170	543	181	276	80
	7	11	18,5	540	190	270	220	590	187	223	70
Rio Negrinho	1	7	18,1	329	233	438	340	275	193	532	38
	1	2	17,9	306	289	405	410	339	255	406	35
	1	9	17,6	325	254	421	630	334	251	415	42
	1	5b	17,4	250	302	448	650	312	289	601	36

superficiais quanto nas subsuperficiais, podendo causar um desbalanço entre a relação de água disponível e o ar do solo, favorecendo à primeira em detrimento da segunda, além de permanecerem nesta condição por um tempo mais longo.

As Tabelas 3 e 4 mostram que as correlações lineares mais expressivas entre o Índice de Sítio produzido e as características físico-hídricas dos solos das parcelas amostradas foram com o conteúdo de água disponível e que há uma queda acentuada nos Índices de Sítios para o *P. taeda* aos 15 anos de idade, conforme aumentam os teores de água disponível no solo nas condições deste estudo. Estas mesmas tabelas mostram ainda que, em ambas as camadas, os solos das parcelas com maior crescimento de pinus apresentaram os menores valores de conteúdo de água disponível para as plantas, exatamente o oposto dos solos das parcelas menos produtivas. Estas correlações, para ambas as profundidades, foram negativas, mostrando que a um aumento no conteúdo de água disponível, houve diminuição no crescimento do pinus, o que vem corroborar esta suposição (Figura 9).

FIGURA 8 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) E TEORES DE MATÉRIA ORGÂNICA (g kg^{-1}) NAS PROFUNDIDADES DE 5 A 10 cm E 35 A 40 cm, EM TIJUCAS DO SUL/PR E RIO NEGRINHO/SC (N=14)

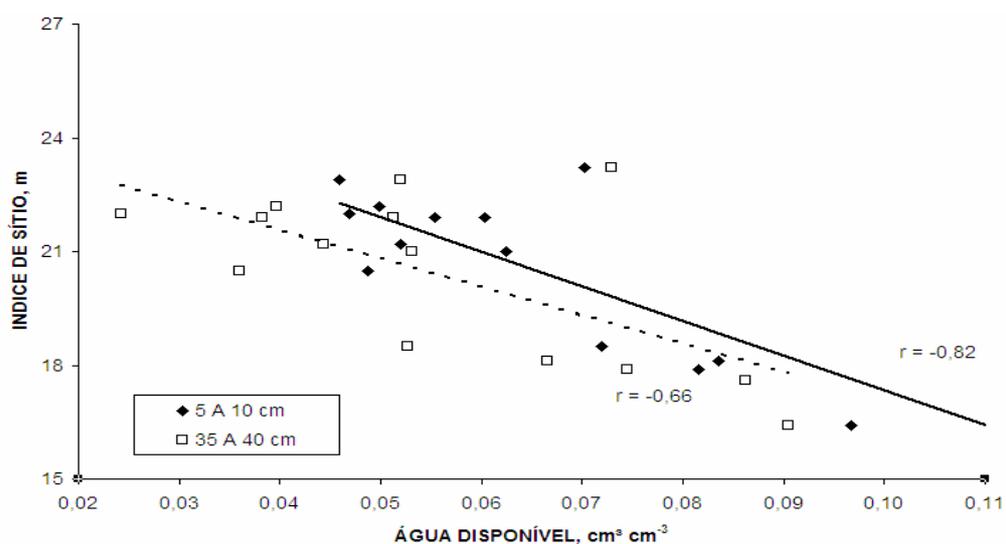
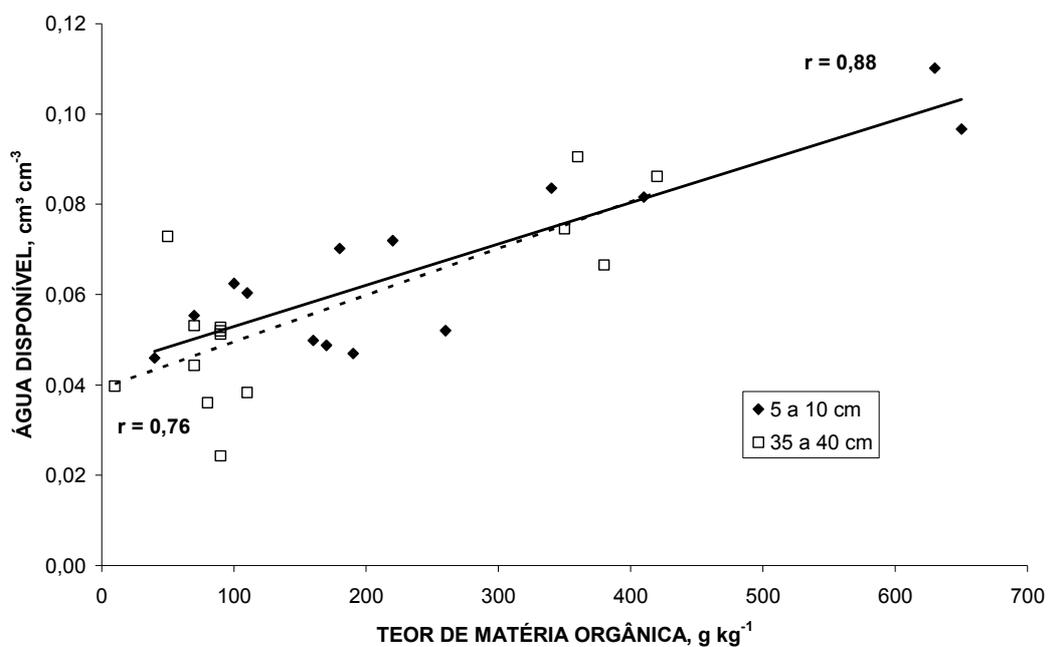


FIGURA 9 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE ÍNDICE DE SÍTIO (m) E ÁGUA DISPONÍVEL NO SOLO ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) NAS PROFUNDIDADES DE 5 A 10 cm E 35 A 40 cm, EM TIJUCAS DO SUL/PR E RIO NEGRINHO/SC (N=14).

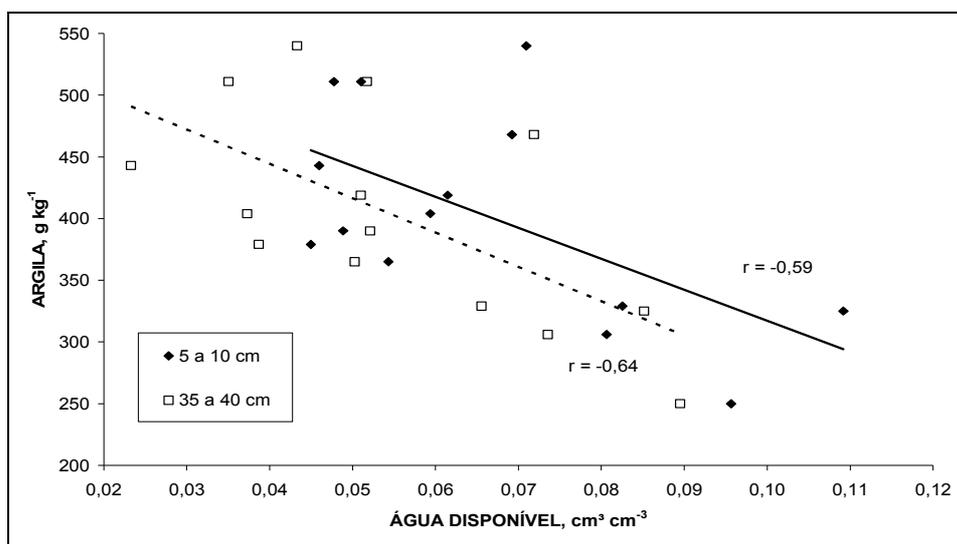
Isto pode parecer um contra-senso, ou seja, as plantas não serem beneficiadas pelo maior volume de água disponível nos solos. No entanto, é muito importante além da maior disponibilidade de água, uma boa aeração dos solos para que haja um bom desenvolvimento da maioria das plantas.

Embora na Figura 10, as correlações não sejam muito expressivas (r^2 menor que 0,65), houve correlação linear negativa entre o teor de argila e o conteúdo de água disponível, mostrando que o teor de argila não é o principal responsável pela redução do crescimento do *P. taeda*. Os altos teores de matéria orgânica (Tabela 2) nos solos menos produtivos (parcelas 5, 2, 9 e 7 da fazenda 1) podem ter contribuído para os seus maiores teores de água disponíveis, conforme já destacado na Figura 8. Estes mesmos solos destas parcelas contrastam com a maioria dos solos dos sítios de Tijucas do Sul, a maioria parece ter perdido o horizonte A original por efeito de erosão ou mesmo raspagem da camada superficial dos solos na derrubada e no enleiramento efetuado por lâmina da vegetação original. A formação de uma camada orgânica nestes solos é ainda muito incipiente e em média não ultrapassa dois centímetros de espessura. Lea e Ballard (1982) concluíram em trabalho semelhante, que houve maior mineralização da matéria orgânica em condições de menor umidade, menor quantidade e pH mais elevado.

Olarieta et al. (2006) relatam que ao aumento do conteúdo de areia em solos com 33 a 51% de argila, determinou um efeito positivo no crescimento de *P. radiata*, em função do aumento da macroporosidade e porosidade de aeração do solo, nestas condições. Os sítios, nesse estudo, apresentaram dominância de solos arenosos, em média com conteúdo de areia de 530 g kg⁻¹, variando de 333 a 703 g kg⁻¹, enquanto o conteúdo de argila foi o maior em apenas um sítio (parcela 22) com 510 g kg⁻¹, que ficou localizado no terço inferior de encosta.

Ainda, para as características físico-hídricas foi aplicada a análise de variância para as médias das parcelas de pinus com relação ao Índice de Sítio (IS₁₅) e para as duas profundidades amostradas. A separação das médias destas características foi feita aplicando-se o teste de Tukey a 5%.

FIGURA 10 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE O CONTEÚDO DE ÁGUA DISPONÍVEL E O TEOR DE ARGILA NO SOLO DAS PARCELAS COM *P. taeda*, NAS PROFUNDIDADES DE 0 A 5 E 35 A 40 cm, RIO NEGRINHO/SC E TIJUCAS DO SUL, PR



Entre as médias das características físicas e entre estas e as médias de crescimento do pinus foram realizados testes de regressão linear para avaliar a influência das características físicas do solo.

Nas Tabelas 3 e 4, são apresentadas as médias das características físicas do solo, onde as parcelas estão classificadas de acordo com a produtividade em Índice de Sítio. Para todas as características dos solos houve diferenças significativas entre as parcelas amostradas em ambas as profundidades. Observa-se na Tabela 3, que as parcelas mais produtivas (7b, 4, 9b e 1), com exceção da 7c, apresentaram-se bastante semelhantes na maioria das características físico-hídricas analisadas. Assim, todas elas, com exceção da 7c, não diferem entre si nos valores de macroporosidade, porosidade de aeração, microporosidade, umidade atual e capacidade de campo. Além disso, apresentaram os valores mais baixos de água disponível para o total do conjunto de dados.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DOS SOLOS DAS PARCELAS, CLASSIFICADAS POR ÍNDICE DE SÍTIO (IS₁₅) DE *P. taeda*, EM ORDEM DECRESCENTE, NA PROFUNDIDADE DE 5 A 10 cm, NOS MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO/SC E TIJUCAS DO SUL/PR

Parcela	Densidade	Porosidade			Umidade de campo	Capacidade de campo	Água disponível
	do solo	Total	Macro	Aeração			
	kg.dm ⁻³	cm ³ .cm ⁻³					
7c	1,043efg	0,631def	0,051f	0,074f	0,546a	0,558a	0,070ef
7b	1,103g	0,612ef	0,252bcde	0,226cde	0,304ef	0,386efg	0,046i
4	1,070fg	0,595f	0,223cde	0,228cde	0,360de	0,367fg	0,050hi
9b	0,909cdef	0,670bcde	0,340a	0,291abcd	0,308ef	0,379fg	0,047i
1	0,965efg	0,628def	0,215de	0,220de	0,372cde	0,409defg	0,060fgh
5	0,951efg	0,685abcd	0,336a	0,282abcde	0,389cd	0,403defg	0,055ghi
10	0,913def	0,706abc	0,236bcde	0,241bcde	0,442bc	0,465bcd	0,052ghi
6	0,510a	0,736a	0,281abcde	0,290abcd	0,387cd	0,446cde	0,062efg
1b	0,993efg	0,646cdef	0,122f	0,125f	0,504ab	0,521ab	0,049hi
11	0,779bcd	0,695abc	0,205e	0,211e	0,477ab	0,484bc	0,072de
7	0,896bcde	0,703abc	0,311ab	0,332a	0,301ef	0,371fg	0,084c
2	0,767bcd	0,691abcd	0,291abc	0,307ab	0,263f	0,384efg	0,082cd
9	0,736b	0,723ab	0,285abcd	0,299abc	0,348de	0,424cdef	0,110a
5b	0,750bc	0,654cdef	0,291abc	0,306ab	0,304ef	0,348g	0,097b
CV %	10,7	5,5	18,3	17,9	11,4	9,1	9,8

Mesma tendência se verifica na camada de 35 - 40 cm (Tabela 4) com relação aos teores de água disponível nos solos. Observam-se valores menores para as parcelas mais produtivas, as quais não diferiram entre si na maioria das características físico-hídricas analisadas.

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DOS SOLOS DAS PARCELAS, CLASSIFICADAS POR ÍNDICE DE SÍTIO (IS₁₅) DE *P. taeda*, EM ORDEM DECRESCENTE, NA PROFUNDIDADE DE 35 A 40 cm, NOS MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO/SC E TIJUCAS DO SUL/PR

Parcela	Densidade do solo	Porosidade			Umidade de campo	Capacida- de de campo	Água disponível
		Total	Macro	Aeração			
	kg.dm ⁻³	cm ³ .cm ⁻³					
7c	1,028ab	0,623ab	0,108cd	0,113d	0,511a	0,510a	0,073ab
7b	1,135bc	0,537de	0,165bcd	0,169bcd	0,365bcd	0,368g	0,040cde
4	1,019ab	0,619ab	0,118cd	0,120cd	0,481ab	0,498ab	0,053bcd
9b	1,359d	0,528e	0,134cd	0,121cd	0,363bcd	0,407defg	0,024e
1	1,114bc	0,570bcde	0,111cd	0,113d	0,435ab	0,457bcd	0,038de
5	1,035ab	0,617ab	0,286a	0,256a	0,389abcd	0,361g	0,051bcde
10	1,058abc	0,565bcde	0,120cd	0,125cd	0,423abc	0,440de	0,053bcd
6	1,192c	0,603abcd	0,143cd	0,108d	0,403abc	0,495abc	0,052bcde
1b	1,095abc	0,606abc	0,156bcd	0,160cd	0,449ab	0,446cd	0,036de
11	1,104bc	0,546cde	0,096d	0,099d	0,443ab	0,447bcd	0,044cde
7	1,017ab	0,631ab	0,185bc	0,205abc	0,370bcd	0,426def	0,067abc
2	1,082abc	0,568bcde	0,169bcd	0,180abcd	0,276d	0,388fg	0,075ab
9	0,948a	0,644a	0,231ab	0,252ab	0,308cd	0,392efg	0,086a
5b	1,081abc	0,583abcde	0,140cd	0,152cd	0,377bcd	0,431def	0,091a
CV %	4,9	4,0	18,8	19,5	11,0	4,2	17,9

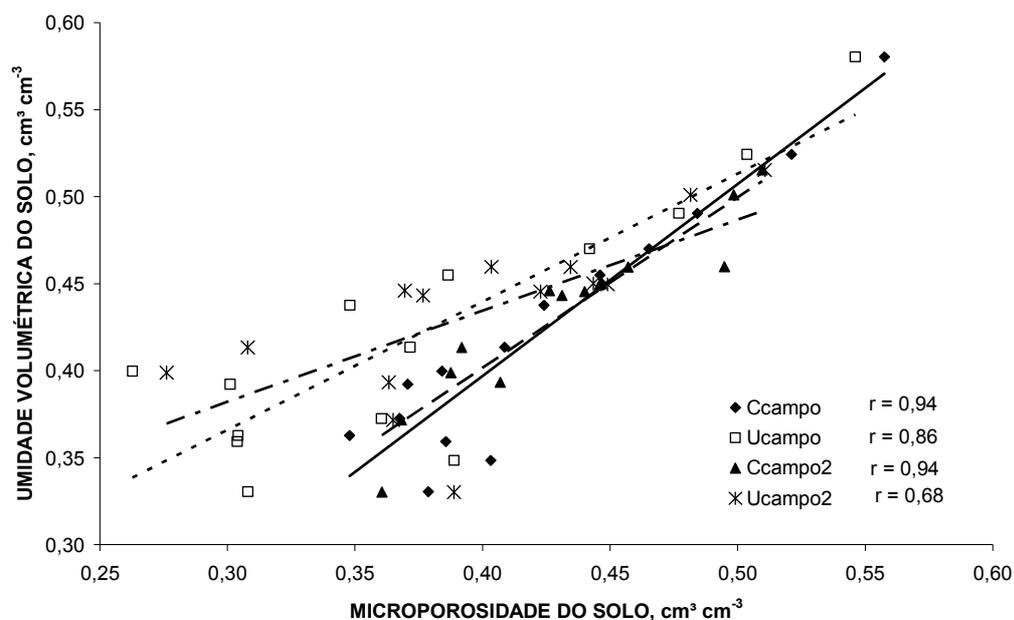
No entanto, o solo da parcela 7c apresentou valores de porosidade de aeração e de macroporosidade abaixo do limite crítico (10% A 15%) (WEAVER e JAMISON, 1951), mas isto não impediu de situar-se em primeiro lugar quanto ao maior crescimento do pinus. Este solo, apesar destes valores, não apresentou densidade elevada e mostrou altos valores de água disponível na camada de 35 a 40 cm de profundidade. A deficiência de aeração pode ser decorrente da granulometria deste solo (Tabela 2), com uma distribuição das três partículas com valores muito semelhantes o que pode permitir um adensamento natural, com

diminuição da porosidade. Este fato pode ter dificultado a drenagem profunda do excesso de água no solo e reduzido os valores da macroporosidade e da porosidade de aeração, considerando-se que estas áreas não apresentam déficit hídrico principalmente na estação de crescimento. Enquanto a água disponível variou negativamente com o Índice de Sítio, mostrando que os solos mais úmidos prejudicavam o crescimento das árvores. Olarieta et al. (2006) também comentam que houve uma tendência para solos com menor drenagem apresentarem índices de crescimento de *P. radiata* menores comparados aos solos moderadamente a bem drenados. Deve-se salientar que as parcelas amostradas nesse estudo, situam-se em região com precipitação uniforme, sem deficiência hídrica anual, principalmente nos meses de crescimento (verão).

Nesta situação, o excesso de umidade no solo é que pode estar causando restrições ao crescimento das árvores. Isto inibe a aeração do solo, que se torna mais importante nas camadas mais profundas do solo e também torna mais lenta a drenagem profunda do excesso de água, considerando-se que esta região não apresenta déficit de precipitação pluviométrica. Na Figura 11, pode-se observar a alta correlação linear positiva entre as características de conteúdo de água na capacidade de campo e no momento da coleta com a microporosidade em ambas às profundidades, mostrando que a influência negativa da microporosidade no crescimento das árvores, decorre do fato de que o seu incremento leva a um maior teor de água no solo por um período mais longo, o que pode, em alguns momentos, dificultar operações silviculturais com máquinas e implementos, além de influenciar negativamente no desenvolvimento radicular do *P. taeda*.

Os valores dos coeficientes de correlação linear (r) entre algumas variáveis físico-hídricas e o Índice de Sítio não são muito elevados, mas certamente o serão em modelos para explicar o crescimento das árvores. Não se pode esperar que uma única variável possa explicar, por si só, quase que totalmente a produtividade observada nas diferentes parcelas que compõem este estudo, mas quando consideradas em conjunto mostram-se coerentes indicando a importância da aeração do solo nestas condições climáticas para o período de crescimento.

FIGURA 11 - CORRELAÇÃO LINEAR ENTRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO SOLO – CONTEÚDO DE UNIDADE NA CAPACIDADE DE CAMPO (C_{campo}) E NO MOMENTO DA COLETA (U_{campo}) COM A MICROPOROSIDADE, NAS PROFUNDIDADES DE 5 A 10 cm E DE 35 A 40 cm



Por outro lado, várias foram às técnicas utilizadas de estatísticas multivariadas para complementar os estudos anteriores na compreensão da influência das características físicas e físico-hídricas no crescimento do *P. taeda*. Desta forma, inicialmente, procurou-se compreender as relações de causa e efeito entre as variáveis físico-hídricas do solo, através da técnica de análise de trilha. Este procedimento foi utilizado em duas etapas: na primeira fase, para selecionar as variáveis explicativas que mais se correlacionaram com as variáveis principais. Posteriormente, para avaliar os efeitos diretos e indiretos das variáveis selecionadas sobre crescimento da espécie em estudo.

A Tabela 5 apresenta os efeitos diretos (apresentados na diagonal e negritados) e indiretos (observados na horizontal) das variáveis granulométricas sobre os aspectos de crescimento de *P. taeda* para a análise conjunta dos dados.

TABELA 5 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS^{1/}, ENTRE ÍNDICES DE SÍTIO (IS_15) DE *P. taeda* E CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DO SOLO EM DUAS PROFUNDIDADES CONSIDERANDO OS DADOS DAS TRÊS ÁREAS PILOTOS ANALISADOS EM CONJUNTO

Variáveis ^{2/}	Argila1	Silte1	Areia1	Argila2	Silte2	Areia2	Total ^{5/}
Argila1	<u>2.909</u>	0.592	-3.284	-0.039	-0.136	0.410	0.410*
Silte1	0,571	<u>3.013</u>	-3.449	-0.120	-0.210	0.595	0.401*
Areia1	-2.194	-2.386	<u>4.355</u>	0.291	0.225	-0.814	-0.523**
Argila2	2.413	0.882	-3.102	<u>-0.409</u>	-0.099	0.673	0.357*
Silte2	1.446	2.303	-3.577	-0.147	<u>-0.274</u>	0.753	0.503**
Areia2	-2.232	-2.058	4.073	0.316	0.237	<u>-0.871</u>	-0.535**

Coefficiente de Determinação^{3/} = 0.302

Efeito da Variável Residual^{4/} = 0.835

^{1/} Leituras dos Efeitos Diretos (sublinhados) na Diagonal e dos Efeitos Indiretos na Horizontal; valores numéricos dos efeitos diretos são chamados coeficientes de trilha.

^{2/} Profundidade de coleta de solo: 1 (0 – 20 cm), 2 (30 – 50 cm);

^{3/} $R^2_{total} = (2,909 \times 0,41) + (3,013 \times 0,40) + (4,355 \times -0,52) + (-0,409 \times 0,357) + (-0,274 \times 0,503) + (-0,871 \times -0,503) = 0,302$;

^{4/} $pê = \sqrt{1 - 0,302} = 0,835$

^{5/} Correlações totais (Pearson) com significância pelo teste “t” de: ** (p≤0,01); * (p≤0,05); ° (p≤0,10).

A seleção das variáveis explicativas padronizadas teve como base o coeficiente de determinação (R^2). Por esta tabela, verifica-se que tanto para a camada superficial (0-20 cm) quanto para a camada subsuperficial (30-50 cm), a variável a apresentar os maiores coeficientes de trilha com o Índice de Sítio (IS_15) foi a fração areia, com índices de (4,355) e (-0,871), respectivamente.

No entanto, estes valores e os demais correlacionados apesar de serem superiores ao índice da variável residual (0,835), não apresentam coeficiente de determinação (R^2) adequado (Tabela 5). Desta forma, por esta análise estatística, não se pode afirmar se há influência das características granulométricas do solo na produtividade do pinus. Há apenas uma tendência de caráter geral de que possam estar influenciando o crescimento desta espécie.

Quanto às análises de trilhas para os dados físico-hídricos da camada superficial (5 – 10 cm) (Tabela 6) e camada subsuperficial (35 – 40 cm) (Tabela 7),

TABELA 6 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS, ENTRE O ÍNDICE DE SÍTIO (IS₁₅) DE *P. taeda* E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DA CAMADA SUPERFICIAL (5 – 10 cm) DO SOLO PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS

Variáveis	Dens.	Micro	CC	U_Crít.	PMP	UAtual	Por.	Macro	TOTAL ^{1/}
Dens.	<u>0.013</u>	-0.182	0.268	0.165	0.028	0.001	-1.118	0.908	0.108
Micro	-0.001	<u>2.341</u>	-2.955	-2.417	-0.396	0.379	0.725	2.167	0.080
CC	-0.001	2.337	<u>-2.961</u>	-2.434	-0.400	0.380	0.732	2.154	0.062
U_Crít.	-0.001	2.295	-2.923	<u>-2.465</u>	-0.402	0.369	0.702	2.133	0.002
PMP	-0.001	2.261	-2.885	-2.416	<u>-0.410</u>	0.390	0.653	2.140	0.099
U_Atual	0.001	2.091	-2.652	-2.143	-0.377	<u>0.424</u>	0.520	2.065	0.266
Por.	-0.010	1.127	-1.439	-1.149	-0.178	0.146	<u>1.506</u>	-0.131	-0.097
Macro	-0.005	-1.992	2.504	2.065	0.345	-0.344	0.077	<u>-2.547</u>	-0.097

Coeficiente de Determinação = 0.417

Efeito da Variável Residual = 0.763

^{1/} Correlações totais (Pearson) com significância pelo teste “t” de: ** (p≤0,01); * (p≤0,05); ° (p≤0,10).

TABELA 7 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS, ENTRE O ÍNDICE DE SÍTIO (IS₁₅) DE *P. taeda* E CARACTERÍSTICAS FÍSICO-HÍDRICAS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (35 – 40 cm) DO SOLO PARA O CONJUNTO TOTAL DOS DADOS

Variáveis	Dens.	Micro	CC	U_Crít.	PMP	UAtual	Por.	Macro	TOTAL ^{1/}
Dens.	<u>0.633</u>	-0.087	-0.966	0.771	-0.507	-0.045	1.461	-0.937	0.322
Micro	-0.303	<u>0.182</u>	1.910	-1.389	0.946	0.135	-0.613	-0.676	0.187
CC	-0.314	0.178	<u>1.945</u>	-1.469	1.005	0.138	-0.694	-0.565	0.227
U_Crít.	-0.315	0.163	1.846	<u>-1.548</u>	1.029	0.128	-0.809	-0.327	0.181
PMP	-0.306	0.164	1.865	-1.520	<u>1.048</u>	0.136	-0.735	-0.414	0.254
U_Atual	-0.189	0.162	1.788	-1.313	0.946	<u>0.151</u>	-0.333	-0.836	0.372°
Por.	-0.576	0.069	0.840	-0.780	0.480	0.031	<u>-1.607</u>	1.223	-0.310
Macro	-0.341	0.071	-0.631	0.291	-0.250	-0.073	-1.130	<u>1.739</u>	-0.454*

Coeficiente de Determinação = 0.437

Efeito da Variável Residual = 0.750

^{1/} Correlações totais (Pearson) com significância pelo teste “t” de: ** (p≤0,01); * (p≤0,05); ° (p≤0,10).

verifica-se, que do conjunto de variáveis físico-hídricas analisadas apenas a macroporosidade (MACRO) da camada subsuperficial apresentou coeficiente de trilha significativo ($p \leq 0,05$) com o Índice de Sítio (IS_15) (Tabela 7). Nesta mesma tabela, observa-se que o valor encontrado da influência direta da macroporosidade (1,739) com o IS_15 é positivamente relacionado e supera o valor encontrado para o resíduo (0,750).

Por esta análise, pode-se afirmar que há uma influência direta da quantidade de macroporos da camada subsuperficial do solo na produtividade do pinus, pois há uma tendência de que com o aumento da macroporosidade (1,739*) haja uma melhor condição do sítio para o crescimento desta espécie. Sabe-se que solos mais arenosos subsuperficialmente (“solos saprolíticos”) apresentam em condições naturais maiores macroporosidade e densidade global que os solos argilosos, indicando menor armazenamento de água.

Este resultado reforça a constatação de que à medida que a textura passa a ser mais grosseira na camada subsuperficial dos perfis de solos, maior a qualidade do ambiente para o *P. taeda*, resultados que não coincidem com as observações feitas em Telêmaco Borba /PR – região com estação seca definida –, por Santos Filho et al. (1992/1993), os quais constataram piores desenvolvimentos para o *P. taeda* quando associados a solos arenosos, em posições de paisagens que favoreciam a lixiviação e a baixa capacidade de retenção d’água. Também não concordam com os resultados encontrados por Turvey, Rudra e Turner (1986) e Hamblin et al. (1988) para a cultura do eucalipto em ambientes com estação seca definida, onde os solos que apresentavam textura mais grosseira, nas maiores profundidades do perfil de solo, houve menores produções.

Conclui-se, pelos resultados das análises físico-hídricas, que a compreensão do comportamento da umidade do solo assume grande importância para o *P. taeda*. Para tanto, é necessário entender as condições climáticas dos locais de estudos e correlacioná-las com a infiltração (condutividade hidráulica) e curvas características de retenção de água para cada tipo de solo, tanto na zona principal de enraizamento das árvores, como nas camadas subsuperficiais dos perfis de solo.

4.3 EFEITO DAS VARIÁVEIS QUÍMICAS DOS SOLOS SOBRE O CRESCIMENTO DE *P. taeda*

A Tabela 8 contempla o conjunto de variáveis químicas analisadas na camada superficial (0 - 20 cm) e a Tabela 9, contempla os dados químicos da camada subsuperficial (30 - 50 cm).

Pela tabela 8, verifica-se que na camada superficial, as seguintes variáveis independentes apresentaram coeficientes de correlação total (quando envolvidos indiretamente com todas as outras variáveis explicativas) significativos pelo teste t: pHCaCl₂ (PH1) (-0,595**), fósforo (P1) (0,543**), matéria orgânica (MO1) (-0,441**), H+Al³⁺ (HAL1) (-0,395*), capacidade de troca catiônica (CTC1) e saturação por bases (V1).

Assim, verificam-se coeficientes de trilha ou seja, valores dos efeitos diretos superiores ao do resíduo: pHCaCl₂ (PH1), fósforo (P1), matéria orgânica (MO1), H+Al³⁺ (HAL1) (-0,395*), capacidade de troca catiônica (CTC1) (-0,397*) e saturação por bases (V1) (-0,331*). No entanto, para a maioria destas mesmas variáveis não houve coeficiente de trilha (correlação direta) significativo pelo teste t.

Apenas as variáveis “H+Al³⁺” e “CTC” da camada superficial apresentaram valores superiores ao efeito do resíduo (0,658). Portanto, são as únicas variáveis da camada superficial dos solos que podem dar um indicativo de correlação adequada com o Índice de Sítio. Isto significa que à medida que se aumentam os valores da acidez trocável (H+Al³⁺) e da atividade da fração argila (maior CTC) na superfície dos solos, diminuem as probabilidades de maiores produtividades (obtidas pelos índices de sítios) de *P. taeda*.

As variáveis “PH1” (0,247*), “P1” (0,259*) e “AL” (-0,304*), apesar de apresentarem coeficientes de correlações totais significativos, não apresentaram os coeficientes de trilha superiores ao da variável residual (0,625).

TABELA 8 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS^{1/}, ENTRE ÍNDICE DE SÍTIO (IS₁₅) PARA *P. taeda* E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA CAMADA SUPERFICIAL (0 – 20 cm) DO SOLO^{2/}, CONSIDERANDO TODOS OS DADOS PADRONIZADOS E ANALISADOS EM CONJUNTO

VAR ^{2/}	PH1	P1	K1	MO1	AL1	HAL1	SB1	CTC1	V1	TOT ^{4/}
PH1	<u>-0.067</u>	-0.184	-0.030	-0.189	0.093	1.601	-0.002	-1,731	-0,087	-0,595**
P1	0.038	<u>0.322</u>	0.041	0.071	-0.033	-1.106	0.003	1.160	0.045	0,543**
K1	0.017	0.114	<u>0.116</u>	-0.042	0.230	2.197	0.006	-2.463	-0.066	0,109
MO1	-0.039	-0.071	0.015	<u>-0.321</u>	0.307	3.335	-0.001	-3.632	-0.032	-0,441**
AL1	-0.014	-0.023	0.058	-0.214	<u>0.460</u>	5.657	0.0003	-6.150	-0.012	-0,236
HAL1	-0.015	-0.051	0.037	-0.155	0.376	<u>6.935</u>	-0.0006	-7.524	0.003	-0,395*
SB1	0.020	0.141	0.090	0.051	0.016	-0.526	<u>0.007</u>	0.469	-0.089	0,181
CTC1	-0.015	-0.050	0.038	-0.155	0.376	6.934	-0.0005	<u>-7.526</u>	0.001	-0,397*
V1	-0.033	-0.084	0.044	-0.060	0.031	-0.118	0.004	0.586	<u>-0.175</u>	-0,331*

Coefficiente de Determinação^{2/} = 0.567

Efeito da Variável Residual^{3/} = 0.658

^{1/} Leituras dos Efeitos Diretos (sublinhados) na Diagonal e dos Efeitos Indiretos na Horizontal; valores numéricos dos efeitos diretos são chamados coeficientes de trilha.

^{2/} $R^2_{total} = 0,562$;

^{3/} $p\hat{e} = \sqrt{1 - 0,562} = 0,658$

^{4/} Correlações totais (Pearson) com significância pelo teste “t” de: ** (p≤0,01); * (p≤0,05); ° (p≤0,10).

Por outro lado, pela Tabela 9, verifica-se que na camada subsuperficial, as seguintes variáveis independentes apresentaram coeficientes de correlação total (quando envolvidos indiretamente com todas as outras variáveis explicativas) significativos pelo teste t: pHCaCl₂ (PH2) (-0,587**), fósforo (P2) (0,291°), potássio (K2) (0,416**), matéria orgânica (MO2) (-0,356*) e soma de bases (SB2) (0,292°). No entanto, para nenhuma destas variáveis se verificou coeficientes de trilhas com significância ou seja, valores dos efeitos diretos superiores ao do resíduo e significativos pelo teste t.

TABELA 9 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS^{1/}, ENTRE CRESCIMENTO (HMED) DE *P. taeda* E CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (30 – 50 cm) DO SOLO, CONSIDERANDO TODOS OS DADOS PADRONIZADOS E ANALISADOS EM CONJUNTO

VAR ^{2/}	PH2	P2	K2	MO2	AL2	HAL2	SB2	CTC2	V2	TOT ^{4/}
PH2	<u>-0.175</u>	-0.041	-0.147	0.054	-0.056	-5.234	-0.030	5.153	-0.113	-0,587**
P2	0.036	<u>0.201</u>	0.067	-0.011	-0.028	-0,790	-0.002	0.766	0.051	0,291°
K2	0.110	0.058	<u>0.234</u>	-0.024	-0.098	-3.869	0.029	3.860	0.117	0,416**
MO2	-0.069	-0.016	-0.040	<u>0.138</u>	-0.162	-16.025	-0.030	15.855	-0.007	-0,356*
AL2	-0.038	0.022	0.090	0.088	<u>-0.254</u>	-18.223	-0.004	18.070	0.035	-0,215
HAL2	-0.041	0.007	-0.041	0.007	0.040	<u>-22.527</u>	0.098	-0.206	-0.007	-0,267
SB2	0.050	-0.003	0.064	-0.039	0.011	1.419	<u>0.106</u>	-1.244	-0.071	0,292°
CTC2	-0.040	0.007	0.040	0.098	-0.206	-22.525	-0.006	<u>22.331</u>	0.036	-0,264
V2	-0.100	-0.052	-0.139	0.005	0.046	4.267	0.038	-4.119	<u>-0.197</u>	-0,251

Coefficiente de Determinação^{2/} = 0.465

Efeito da Variável Residual^{3/} = 0.731

^{1/} Leituras dos Efeitos Diretos (sublinhados) na Diagonal e dos Efeitos Indiretos na Horizontal; valores numéricos dos efeitos diretos são chamados coeficientes de trilha.

^{2/} $R^2_{total} = 0,465$;

^{3/} $p\hat{e} = \sqrt{1 - 0,465} = 0,731$

^{4/} Correlações totais (Pearson) com significância pelo teste “t” de: ** ($p \leq 0,01$); * ($p \leq 0,05$); ° ($p \leq 0,10$).

Isto sugere que para as condições analisadas, a maioria das variáveis químicas, por si só, não foi capaz de explicar as diferenças nas produtividades do *P. taeda*. Nenhuma das outras variáveis apresentou coeficiente de correlação em níveis significativos ($p < 0,10$) pelo teste t.

4.4 EFEITO DAS VARIÁVEIS DE LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL SOBRE O CRESCIMENTO DE *P. taeda*

A Tabela 10 apresenta a análise de trilha para as variáveis de posicionamento das parcelas de inventário florestal na paisagem. Verifica-se, que apesar de algumas variáveis apresentarem Correlações de Pearson significativas pelo teste t, os coeficientes de trilha relacionados com o Índice de Sítio (IS₁₅) para o *P. taeda*, não foram suficientemente altos para superarem o coeficiente residual. Isto sugere que para as condições analisadas, as variáveis de posicionamento, por si só, não foram capazes de explicar as diferenças nos índices de sítios para o *P. taeda*.

Estes resultados não concordam com os encontrados por Santos Filho et al. (1992/1993) que verificaram que os piores desenvolvimentos do *P. taeda* estavam associados aos solos em posições de paisagens que favoreciam a lixiviação de nutrientes e a menor retenção d'água.

TABELA 10 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS^{1/}, ENTRE PRODUTIVIDADE (HMED) DE *P. taeda* E PARÂMETROS DE POSIÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DA MOBASA

VAR	PROEFE	LENFRE	SITUA	DECLIVE	GEOLOG	ALT	TOTAL ^{4/}
PROEFE	<u>-0.146</u>	0.016	-0.0004	0.038	0.024	0.002	-0.066
LENFRE	-0.011	<u>0.209</u>	-0.067	0.098	0.066	0.023	0.319*
SITUA	0.004	-0.099	<u>0.142</u>	0.009	0.034	0.005	0.092
DECLIVE	-0.022	0.080	0.006	<u>0.259</u>	0.159	0.043	0.523**
GEOLOG	-0.013	0.051	0.018	0.152	<u>0.271</u>	0.039	0.518**
ALT	0.004	-0.063	-0.010	-0.148	-0.142	<u>-0.075</u>	-0.434**

Coefficiente de Determinação^{2/} = 0.398

Efeito da Variável Residual^{3/} = 0.776

^{1/} Leituras dos Efeitos Diretos (sublinhados) na Diagonal e dos Efeitos Indiretos na Horizontal; valores numéricos dos efeitos diretos são chamados coeficientes de trilha.

^{2/} $R^2_{total} = 0,398$;

^{3/} $pê = \sqrt{1 - 0,398} = 0,776$

^{4/} Correlações totais (Pearson) com significância pelo teste "t" de: ** (p≤0,01); * (p≤0,05); ° (p≤0,10).

4.5 EFEITO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS SOBRE O CRESCIMENTO DE *P. taeda*

O presente item de trabalho foi desenvolvido objetivando verificar se havia diferenças significativas quanto às características climáticas entre as produtividades dos povoamentos de pinus nas três áreas pilotos de estudo. Procurou-se explicar a variação de produtividade entre as localidades estudadas, analisando-se os componentes climáticos. Desta forma, a Tabela 11 apresenta a análise de trilha para estas variáveis.

Do conjunto de variáveis analisadas, todas elas apresentaram coeficientes de trilha significativos ($p < 0,05$) e coeficientes de correlação total significativo a 1% pelo teste t. Além disso, todas as variáveis climáticas apresentaram coeficientes de trilha modular superiores ao da variável residual (0,694). Isto sugere que para as condições analisadas, estas variáveis foram capazes de explicar diferenças nas produtividades do pinus nas áreas de estudos. Entretanto, estas variáveis, quando consideradas em conjunto não explicam satisfatoriamente as variações no crescimento do pinus, por apresentarem coeficiente de determinação geral inferior ao da variável residual “0,518”.

Digno de nota é a contribuição das variáveis explicativas climáticas quando analisadas em suas contribuições na forma indireta. Praticamente todas possuíram coeficientes de correlação superiores ao da variável residual (0,518). Isto não ocorreu com os outros grupos de variáveis independentes.

Verifica-se ainda, por esta análise de trilha, a grande participação da variável precipitação média do segundo trimestre (PREC2T) por possuir o maior coeficiente de trilha seguida pelas variáveis temperaturas mínima média (TMIMED) e máxima média do quarto trimestre (TMAX4), que são as variáveis climáticas com maior contribuição para as diferenças de crescimento do *P. taeda*.

Por outro lado, na Tabela 12, são apresentadas as relações existentes entre as variáveis estudadas, através da técnica de “Análises de Componentes Principais – ACP”. Observam-se, entre este grupo de variáveis, correlações significativas ao nível de 1% de probabilidade para grande parte delas, o que já era de se esperar, em

TABELA 11 - DESDOBRAMENTOS DAS CORRELAÇÕES EM EFEITOS DIRETOS E INDIRETOS^{1/}, ENTRE PRODUTIVIDADE DE *P. taeda* E CONDIÇÕES CLIMÁTICAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DE ESTUDO

VARIÁV.	TMAX2	TMAX3	TMAX4	TMAMED	TMIN2	TMIN3	TMIN4	TMIMED	PREC2T	PREC3T	PREC4T	PREMED	TOT ^{3/}
TMAX2	<u>8.500</u>	-0.873	-9.119	-2.375	-2.734	4.730	6.335	-9.633	9.808	-2.928	-3.972	1.505	-0.596**
TMAX3	8.477	<u>-0.875</u>	-8.935	-2.370	-2.661	4.686	6.234	-9.449	9.243	-2.670	-3.851	1.436	-0.576**
TMAX4	8.268	-0.834	<u>-9.375</u>	-2.303	-2.866	4.702	6.428	-9.874	11.243	-3.640	-4.214	1.671	-0.640**
TMAMED	8.499	-0.873	-9.093	<u>-2.375</u>	-2.723	4.725	6.321	-9.607	9.719	-2.887	-3.954	1.495	-0.593**
TMIN2	8.083	-0.810	-9.345	-2.250	<u>-2.875</u>	4.632	6.378	-9.832	11.597	-3.841	-4.245	1.708	-0.647**
TMIN3	8.464	-0.863	-9.280	-2.362	-2.804	<u>4.750</u>	6.413	-9.792	10.437	-3.228	-4.094	1.581	-0.618**
TMIN4	8.365	-0.847	-9.361	-2.332	-2.849	4.732	<u>6.438</u>	-9.866	10.957	-3.489	-4.178	1.640	-0.633**
TMIMED	8.293	-0.837	-9.374	-2.311	-2.863	4.710	6.432	<u>-9.875</u>	11.181	-3.607	-4.207	1.665	-0.639**
PREC2T	6.806	-0.660	-8.604	-1.884	-2.722	4.047	5.758	-9.013	<u>12.250</u>	-4.392	-4.086	1.740	-0.633**
PREC3T	5.531	-0.519	-7.585	-1.524	-2.454	3.407	4.991	-7.916	11.955	<u>-4.500</u>	-3.732	1.657	-0.584**
PREC4T	7.944	-0.793	-9.297	-2.209	-2.872	4.575	6.328	-9.775	11.777	-3.952	<u>-4.250</u>	1.724	-0.649**
PREMED	7.313	-0.718	-8.954	-2.029	-2.805	4.291	6.033	-9.394	12.179	-4.261	-4.188	<u>1.750</u>	-0.645**

OBS.: Coeficiente de Determinação = 0.518; Efeito da Variável Residual = $\sqrt{1 - 0.518} = 0.694$; ^{1/} Leituras dos Efeitos Diretos (sublinhados) na Diagonal e dos Efeitos Indiretos na Horizontal; ^{3/} **Significativo a 1% pelo Teste t; *Significativo a 5% pelo Teste t; Valores numéricos dos efeitos diretos são chamados coeficientes de trilha.

vista da clássica relação entre algumas destas variáveis. A ACP possibilitou, então, examinar as correlações entre as variáveis climáticas e identificar e ou eliminar àquelas que pouco contribuiu para o total da variação deste grupo.

Pela análise de fatores rotacionados, através dos dados padronizados, verificou-se que a variável “ADAMAX” – água disponível máxima no solo –, foi descartada por possuir comunalidade inferior a 70%. Assim, as outras dez variáveis das condições climáticas foram retidas para a análise de fatores. Os autovalores e as percentagens das variâncias associadas aos fatores e, as percentagens das variâncias acumuladas, são apresentadas na Tabela 13. Isto significa, que as onze variáveis climáticas estudadas podem ser substituídas por dois únicos fatores, com perda de apenas 17,63% da informação, ou seja, os fatores 1 e 2 explicam 82,37% da variação total, estando associados, principalmente, às variáveis de temperatura, no primeiro fator e às variáveis de precipitação no segundo fator (Tabela 14). Por outro lado, através do teste de comparações múltiplas “Diferença Máxima Linear – LSD” procurou-se comparar, à 5% de probabilidade, se existiam diferenças significativas entre as três áreas pilotos para os parâmetros climáticos estudados.

Isto foi feito, por meio de dois contrastes: cp1 (áreas pilotos 1 x 2 x 3) e cp2 (áreas 2 x 3), obtidos das análises dos componentes principais e fatores rotacionados (método Varimax), através dos escores estimados para regressão de cada variável, com cada um dos três fatores significativos onde se pode verificar que houve diferenças significativas, quanto aos parâmetros climáticos analisados, tanto para o contraste um (cp1) quanto para o contraste dois (cp2) entre as três áreas pilotos estudadas, onde se pode constatar que na média, as produtividades da área piloto nº 3 foram superiores a área nº 2 e esta foi superior a área nº 1, considerando os contrastes analisados quanto às condições climáticas.

TABELA 12 - MATRIZ DE CORRELAÇÕES, R, ENTRE AS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DO PRESENTE ESTUDO

VARIÁV.*	PMED	PMAX	MAXMA	MAXME	MAXMIN	MINMA	MINME	MINMIN	ADAMAX	ADAMED	ADAMIN
PMED	1.0000										
PMAX	0.6922	1.0000									
MAXMA	0.6161	0.1499	1.0000								
MAXME	0.6794	0.4199	0.9322	1.0000							
MAXMIN	0.6738	0.2999	0.9674	0.9837	1.0000						
MINMA	0.5466	0.2472	0.9441	0.9686	0.9791	1.0000					
MINME	0.6967	0.3181	0.9612	0.9693	0.9816	0.9440	1.0000				
MINMIN	0.6608	0.2807	0.9781	0.9787	0.9946	0.9765	0.9807	1.0000			
ADAMAX	-0.3494	-0.1610	-0.5902	-0.5666	-0.5423	-0.5792	-0.4701	-0.5694	1.0000		
ADAMED	0.3277	0.0376	0.5951	0.4899	0.5109	0.5234	0.4759	0.5840	-0.6419	1.0000	
ADAMIN	0.1990	-0.0500	0.1907	-0.0054	0.0509	0.0411	0.0483	0.1066	-0.3012	0.5498	1.0000

* Variáveis: PMED= precipitação média; PMAX= precipitação máxima; MAXMA = temperaturas máximas das máximas; MAXME = temperaturas médias das máximas; MAXMIN = temperaturas mínimas das máximas; MINMA = temperaturas máximas das mínimas; MINME = temperaturas médias das mínimas; MINMIN = temperaturas mínimas das médias; ADAMAX = água disponível máxima nos solos; ADAMED= água disponível média nos solos; ADAMIN= água disponível mínima nos solos

TABELA 13 - AUTOVALORES (λ) DAS DEZ COMPONENTES PRINCIPAIS RETIDAS, EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO, R, DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS AVALIADAS, PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ASSOCIADAS DO PRIMEIRO AO TERCEIRO FATOR, E PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ACUMULADAS

Fatores	Autovalores	% Variância do Fator	% Var. Acumulada
1	6.7820	0.6782	0.6782
2	1.4549	0.1455	0.8237
3	1.1767	0.1177	0.9414

TABELA 14 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS CLIMÁTICAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DO PRESENTE ESTUDO

VARIÁVEIS	COMUNALIDADES	FATORES		
		1	2	3
MIN_MAX	0,9643	0.9712	0.1206	0.0806
MAX_MIN	0,9945	0.9691	0.2178	0.0892
MIN_MIN	0,9989	0.9670	0.1944	0.1614
MAX_MAX	0,9770	0.9561	0.0900	0.2343
MIN_MED	0,9727	0.9512	0.2493	0.0761
MAX_MED	0,9870	0.9440	0.3074	0.0367
PREC_MAX	0,9294	0.1106	0.9548	-0.0745
PREC_MED	0,8846	0.4953	0.7742	0.1997
ADA_MIN	0,9085	-0.0602	0.0508	0.9499
ADA_MED	0,7964	0.4856	-0.0245	0.7483

4.6 TÉCNICAS MULTIVARIADAS PARA SE VERIFICAR O EFEITO DAS CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO SOBRE O CRESCIMENTO DE *P. taeda*

Neste item de discussão, procurou-se utilizar técnicas de estatística multivariada, como a “análise de componentes principais (ACP)”, juntamente com a técnica de “análise de fatores”, para tentar-se reduzir o número das variáveis, como pode ser verificado no amplo rol de características do meio físico e das variáveis de crescimento de árvores de pinus analisadas no sentido de melhor compreensão dos fenômenos correlacionados.

4.6.1 Análises de Componentes Principais e de Fatores Entre as Variáveis do Meio Físico

Da mesma forma, procurou-se fazer a análise de componentes principais para os dados das 49 variáveis explicativas do presente trabalho, obtidas nas três áreas pilotos. Os componentes principais obtidos apresentaram autovalores que variaram de zero a 16,2 (Tabela 15). Verifica-se, ainda, por esta tabela que somente os onze primeiros componentes apresentaram autovalores superiores a um e, ao mesmo tempo, elas explicam 91 % da variação total. Isto significa que as 49 variáveis explicativas estudadas podem ser substituídas por estas onze componentes, com perda de apenas 9 % de informação. Conforme critérios de seleção das componentes, citados anteriormente, esta pesquisa adotou a retenção das componentes com autovalores superiores a um e que explicam mais de 70% da variância total.

Assim, estas onze componentes foram retidas para análises de fatores, a fim de se identificar, dentro de cada fator, as variáveis com coeficientes de maiores valores absolutos. Assim, para cada fator, a variável, ou grupo de variáveis com maiores coeficientes absolutos foram destacadas como as mais importantes até o décimo primeiro fator. Elas praticamente dispensam o uso das demais variáveis inicialmente avaliadas.

TABELA 15 - AUTOVALORES (λ) DAS ONZE COMPONENTES PRINCIPAIS EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO, R, DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS, PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ASSOCIADAS DO PRIMEIRO AO DÉCIMO PRIMEIRO FATOR, E PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ACUMULADAS

Fatores	Autovalores	% Variância do Fator	% Var. Acumulada
1	16.1649	33,0	33,0
2	7.2145	15,0	48,0
3	4.7481	10,0	58,0
4	3.4171	7,0	65,0
5	2.9232	6,0	71,0
6	2.3243	5,0	76,0
7	1.8928	4,0	79,0
8	1.7207	4,0	83,0
9	1.6325	3,0	86,0
10	1.3914	3,0	89,0
11	1.0622	2,0	91,0

A análise dos fatores rotacionados, obtidos através do método Varimax, permitiu observar a importância das variáveis dentro de cada fator (Tabela 28). Foram consideradas importantes as variáveis que apresentaram os maiores coeficientes de correlação dentro de cada fator, as quais estão destacadas em negrito. Todas as variáveis explicativas apresentaram alta comunalidade (Tabela 16), sendo, portanto, mantidas na análise fatorial.

Observou-se, pela Tabela 16 (destaques em negrito), que o **fator 1**, explica 33,0% da variância total, estando totalmente associado ao grupo das características físico-hídricas da camada superficial (0-20 cm). Este fator 1 é representado pelas seguintes variáveis: a) pelo conteúdo de umidade na capacidade de campo (KPA1_10); b) pela microporosidade (KPA1_6); c) pelo conteúdo de umidade no ponto de murcha permanente (KPA1_1500); d) pelo conteúdo de umidade na tensão à 100 kPa (KPA1_100); e) pela maior capacidade de aeração dos solos, ou seja, maior percentual de macroporos (MACRO1); e f) pelo maior teor de umidade

atual (ATUAL1). Isto vem corroborar os resultados obtidos nas análises de trilhas e canônicas, discutidas nos itens anteriores, para este grupo de variáveis. Nota-se que a produção do pinus nas três áreas de estudos tem forte relação com estas características e que, a compreensão do comportamento da água e ar do solo, têm grande importância para esta espécie florestal.

O **fator 2**, responsável por 15% da variação total (Tabela 15), foi dominado principalmente, pelas características químicas da camada subsuperficial (30-50 cm) dos solos (Tabela 16), ou seja, pela capacidade de troca catiônica (CTC2); pela soma dos teores de hidrogênio + alumínio (HAL2); pelos teores de alumínio trocável (AL2); pelos teores de matéria orgânica (MO2); e pelos valores de pH em CaCl₂ (PHCACL2).

TABELA 16 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DE ESTUDOS NA MOBASA

Características	Comunalidades	Fatores										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KPA1_100	0.9790	0.9188	0.0869	0.2128	-0.1872	0.0665	0.1205	-0.0561	0.0375	0.1433	-0.0413	0.0350
KPA1_1500	0.9872	0.9173	0.1062	0.2274	-0.1702	0.0551	0.0952	-0.1213	0.0486	0.1203	-0.1004	-0.0050
KPA1_10	0.9927	0.9150	0.0096	0.2387	-0.2132	0.1055	0.1395	-0.0438	-0.0459	0.1326	0.0040	0.0253
KPA1_6	0.9889	0.9057	-0.0138	0.2471	-0.2222	0.0979	0.1412	-0.0512	-0.0634	0.1440	0.0271	-0.0105
UATUAL1	0.8839	0.7822	-0.0132	0.4563	0.0095	0.0515	0.0511	-0.1276	-0.0916	0.1763	-0.0154	0.0482
MACRO1	0.9110	-0.8447	0.0734	-0.3259	-0.0397	-0.2032	-0.0967	0.0132	0.0768	0.0890	0.1056	-0.0921
CTC2	0.9657	0.0054	0.9513	0.1429	-0.0185	0.0946	0.0777	-0.0372	-0.0806	0.1078	0.0171	-0.0707
HAL2	0.9656	0.0054	0.9512	0.1454	-0.0196	0.0938	0.0759	-0.0381	-0.0822	0.1067	0.0104	-0.0707
AL2	0.9601	0.0644	0.8479	0.0598	-0.1735	0.0618	0.2078	-0.2094	-0.0446	0.3156	-0.0462	-0.0926
MO2	0.8690	-0.2761	0.7319	-0.1677	-0.2901	-0.3001	0.0421	0.0848	-0.1464	-0.0863	-0.1195	-0.0513
ARG2	0.9332	0.2791	0.6529	0.0323	-0.0255	0.4907	-0.0505	-0.0700	-0.2404	-0.2175	-0.0899	0.2567
ARG1	0.9671	0.4632	0.5388	0.2959	-0.2129	0.3817	-0.0131	-0.0759	-0.1529	0.1625	0.0838	0.3476
CTC1	0.8842	0.3357	0.5017	0.2739	-0.4187	0.2457	-0.2428	-0.1983	-0.0708	0.2620	-0.0356	0.1892
HAL1	0.8851	0.3298	0.4994	0.2785	-0.4189	0.2483	-0.2574	-0.1966	-0.0731	0.2603	-0.0375	0.1809
V2	0.8860	-0.0909	-0.6319	-0.3085	0.1597	-0.1284	0.0175	-0.0655	0.0301	0.0524	0.5763	-0.0292
PHCACL2	0.6998	0.0712	-0.7997	0.1313	-0.0364	-0.0012	0.0012	-0.0542	-0.1418	0.0106	-0.0047	-0.1156

-continua-

TABELA 16 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DE ESTUDOS NA MOBASA

-continuação-

Características	Comunalidades	Fatores										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
KPA2_6	0.9809	0.3365	-0.0281	0.9048	-0.0368	0.0651	-0.1117	0.0822	-0.0829	0.0347	-0.1013	0.0711
KPA2_10	0.9854	0.3610	0.0019	0.8951	-0.0611	0.0791	-0.1140	-0.0379	-0.0580	-0.0078	-0.1503	0.0580
UATUAL2	0.9550	0.3110	0.0995	0.8667	0.1435	-0.0834	-0.2038	0.1020	-0.0237	-0.0511	0.0082	0.1197
KPA2_1500	0.9834	0.3497	0.1098	0.8605	-0.0719	0.0086	-0.0766	-0.2574	-0.0593	-0.0436	-0.1572	0.0301
KPA2_100	0.9628	0.4067	0.0535	0.8112	-0.1138	-0.0161	-0.0858	-0.3083	-0.0348	-0.0255	-0.1315	0.0401
SILTE2	0.9399	0.3465	-0.3144	0.4510	-0.3493	0.3379	0.1990	-0.3269	0.2460	0.2559	-0.0154	0.0926
PHCACL1	0.7553	0.0047	-0.3097	-0.6369	0.2877	-0.0217	-0.0116	-0.1079	-0.1497	-0.3397	-0.0642	-0.1292
DENSID1	0.8936	-0.0542	0.0041	-0.0147	0.9015	-0.2549	0.0115	0.0796	-0.0267	0.0019	0.0408	-0.0631
SITUA	0.8639	-0.4127	0.0121	-0.0477	0.5948	0.0698	0.1626	-0.3026	-0.4423	0.0545	0.1088	-0.0637
DENSID2	0.8902	-0.3297	-0.3355	-0.2974	0.5906	-0.0192	-0.2594	-0.2245	0.2683	-0.0380	0.1965	0.0451
AL1	0.8592	0.2706	0.3739	0.2340	-0.4162	0.3498	-0.1242	-0.2733	-0.0232	0.4006	-0.2062	-0.0456
MACRO2	0.8989	0.1176	0.4452	-0.3928	-0.5703	-0.0877	0.3739	0.0553	-0.2229	-0.0249	-0.0761	-0.0257
PORTOT2	0.9303	0.3911	0.3569	0.3394	-0.5909	-0.0392	0.2991	0.0922	-0.2624	0.0162	-0.1296	-0.0094
PORTOT1	0.8805	0.3589	0.0859	0.0370	-0.6983	0.0196	0.0340	-0.1762	0.0452	0.4588	0.0824	-0.0575
MO1	0.8362	-0.0165	0.0584	-0.1613	-0.0962	0.8666	0.0824	0.0376	0.0680	-0.0422	0.0893	-0.1536
K2	0.9389	0.2695	0.3056	0.1551	-0.0601	0.6669	0.4224	0.0913	0.1491	0.0220	-0.0269	-0.3004

-continua-

TABELA 16 - FATORES ROTACIONADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) AVALIADAS NAS TRÊS ÁREAS PILOTOS DE ESTUDOS NA MOBASA

-conclusão-

Características	Comunalidades	Fatores										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
AREIA2	0.9321	-0.4811	-0.0987	-0.2672	0.1902	-0.5950	-0.0924	0.3747	-0.0250	-0.1227	0.0516	-0.2489
AREIA1	0.9651	-0.4526	-0.1500	-0.1945	0.1508	-0.6196	0.0823	0.4357	-0.1716	-0.0835	-0.1135	-0.2177
V1	0.9085	0.1225	-0.1827	-0.2821	0.0581	-0.1599	0.8209	-0.0822	-0.0914	-0.2392	0.0120	0.0721
SB1	0.9037	0.2337	0.1981	-0.2487	-0.0162	0.2641	0.7705	-0.2237	0.1539	-0.0192	0.0275	0.0974
K1	0.9220	0.3055	0.2689	-0.0415	-0.2486	0.2107	0.7549	0.2009	-0.0247	0.1886	0.0436	0.0071
ADISP2	0.9483	-0.1281	-0.4264	-0.0364	-0.0728	0.0581	-0.0391	0.8476	0.0931	0.0293	0.0831	-0.0598
PROEFE	0.7848	-0.1878	0.3054	-0.1925	0.1396	-0.2471	-0.0820	0.5633	0.0608	-0.2109	-0.0329	0.4067
SILTE1	0.8726	0.0675	-0.4118	0.0160	-0.0382	0.4158	-0.0298	-0.5580	0.4387	-0.0287	0.1106	-0.0775
P1	0.8487	-0.0303	-0.0701	-0.1326	0.0185	0.1595	0.0658	-0.0196	0.8781	0.1235	-0.0004	-0.0920
DECLIVE	0.8037	-0.2975	-0.2685	0.0081	0.1145	-0.1575	-0.0803	-0.0063	0.5630	-0.5251	0.0755	-0.0133
LENFRE	0.8295	0.1162	-0.4737	0.0399	0.0511	-0.0027	-0.0962	0.3292	0.4889	-0.1488	0.4563	0.0199
P2	0.8914	0.3687	-0.0001	0.0923	-0.0858	-0.1283	-0.1089	-0.0333	0.0923	0.8339	-0.0790	-0.0073
SB2	0.9338	-0.0974	0.0823	-0.3768	0.2400	0.2313	0.1415	0.0541	-0.0107	0.0035	0.7999	0.0390
ADISP1	0.9091	-0.3909	-0.4252	-0.1962	0.0064	0.0547	0.1342	0.3574	-0.3595	-0.0561	0.4922	0.1163
ALT	0.8280	-0.0909	0.1305	-0.0697	0.2794	0.1285	0.4069	0.1941	-0.2411	0.3377	-0.5711	-0.0409
GEOLOG	0.9636	0.1479	0.0054	0.3476	-0.0671	-0.0811	0.1335	0.0308	-0.1053	0.0095	0.0649	0.8807

É importante salientar que, em análises multivariadas, se uma variável apresenta altas relações com outras, como é o caso das relações entre os teores de matéria orgânica (MO) com uma maior CTC no complexo de troca e, por conseguinte, com os teores de hidrogênio e alumínio, há um favorecimento na maior relação entre elas.

Nesse contexto, os maiores teores de matéria orgânica, estão correlacionados com as condições ambientais contemporâneas da região Sul do país, que favorecem a preservação de MO, principalmente pelas baixas temperaturas que limitam a atividade biológica.

Da mesma forma, os altos índices pluviométricos registrados na região influenciam a lixiviação de nutrientes dos perfis de solos, ou seja, removem os cátions básicos como o cálcio, o magnésio e o potássio, restando elementos como o alumínio que tem maior capacidade de retenção devido à sua maior carga elétrica.

Estas condições são facilmente constatadas através do exame de perfis de solos que, por apresentarem maiores teores de matéria orgânica superficial, atuam de forma mais forte na complexação do ferro, impedindo a precipitação da ferrihidrita, suprimindo, assim, a formação da hematita e favorecendo a da goethita (a qual conduz à formação de solos mais amarelados na superfície), enquanto nos horizontes inferiores, ocorre hematita (que conduz a formação de solos mais avermelhados) dada a menor influência da MO (KÄMPF; CURI, 2000). Estes mesmos autores relatam que outra explicação para perfis de solos com horizontes superficiais amarelos e subsuperficiais vermelhos (solos bicrômicos) é a mudança de um pedoclima mais seco, a milhares de anos atrás, para um clima mais úmido, durante o período contemporâneo. Desta feita, solos com maiores teores de MO, possuem, por conseguinte, maior CTC e maior complexação de íons Al^{3+} , em vista da lixiviação dos cátions, o que leva a um abaixamento do pH da solução do solo e com isso há um aumento dos íons H trocáveis que se complexam (devido à condição estequiométrica) nos sítios de troca dos colóides argilo-minerais e orgânicos dos solos. Portanto, todas estas características são altamente correlacionáveis entre si.

O **fator 3**, que compõe 10% e explicam 57,4% da variação total acumulada (Tabela 15), é também dominado pelas características físico-hídricas (Tabela 16), só que desta feita, são relativos à camada subsuperficial (30-50m) dos perfis de solos. Ele é representado pelas seguintes variáveis, com seus respectivos coeficientes de correlação positivos: a) pela microporosidade (KPA2_6); b) pelo maior conteúdo de umidade na capacidade de campo (KPA2_10); c) pelo maior teor de umidade atual (ATUAL2); d) pela maior retenção de umidade referente ao ponto de murcha permanente (KPA2_1500); e) pelo maior teor de umidade à tensão de 100 kPa (KPA2_100). Digno de nota é verificar mais uma vez a grande importância das características físico-hídricas dentre as características independentes que mais se destacam na explicação da variância total deste grupo de variáveis explicativas. No entanto, ao se compararem valores de retenção de umidade e disponibilidade de água, bem como aspectos de aeração de várias classes de solos, deve-se levar em consideração outros parâmetros, como por exemplo, teores de argila, silte e areia, CTC, matéria orgânica etc. Também, Carvalho et al. (1999) estudando de forma integrada, através de técnicas estatísticas multivariadas como a “Análise de Componentes Principais”, a influência das características do solo no crescimento e produção de *P. taeda*, concluíram que o teor de argila do solo foi determinante para estabelecer as classes de sítios.

No **fator 4**, responsável por 7% da variação total (Tabela 15), há dominância de características que refletem o grau de estruturação dos solos, tais como, a densidade do solo, os aspectos de aeração e a porosidade total, tanto da camada superior quanto inferior dos perfis de solos (Tabela 16). Também, verifica-se neste fator, que a posição da parcela de inventário, quer ela se situe no topo ou nos terços superiores, médios e inferiores de encosta, podem afetar a explicação da variância deste fator. Esta variável está intimamente ligada aos aspectos de estruturação dos solos. Normalmente, nestas áreas de estudos, em relevos mais planos ou em terços superiores de encostas, dominam estruturas mais granulares e ou em blocos subangulares com grau fraco a moderado. Enquanto nos terços médios ou inferiores de encostas, os blocos se apresentam com grau forte.

De qualquer forma, esta característica, dentro deste fator, não é analisada isoladamente. Propõe-se aqui, uma análise que envolva um contraste entre os dois grupos com correlações diretas e indiretas. Assim, de um lado participam as variáveis: densidade do solo das camadas superficial (DENSID1) e subsuperficial (DENSID2), além da variável de posicionamento no relevo da parcela de inventário florestal (SITUA) e, de outro lado, as variáveis: porosidade total da camada superficial (PORTOT1) e subsuperficial (PORTOT2), além da aeração da camada subsuperficial (MACRO2). Nesse particular, os sistemas de manejos da terra influenciam sobremaneira os aspectos de estruturação dos solos e, por conseguinte os aspectos físico-hídricos, quer na condição de alterar a densidade do solo e sua porosidade total (relação macro/microporos) por meio de compactação através do uso de maquinários pesados no preparo dos solos para o plantio de pinus, quer na condição de alterar a condutividade hidráulica. Fatores importantes ligados aos aspectos do potencial de disponibilidade de água para as plantas.

O **fator 5**, que compõe 6% e explicam 70,9% da variação total acumulada (Tabela 15), é dominado por características químicas (Tabela 16), tais como: os teores de matéria orgânica da camada superficial (MO1) e pelos teores de potássio da camada subsuperficial (K2). Também se destacou neste **fator 5**, o percentual de areia, tanto da camada superficial (AREIA1) quanto da camada subsuperficial (AREIA2). Também aqui se verifica que as variáveis químicas tiveram uma boa participação na explicação da variância deste fator. Sugere-se um contraste envolvendo as variáveis químicas de um lado da equação (coeficientes de correlação positivos) e as granulométricas de outro lado (coeficientes de correlação negativos) para explicar melhor a variância deste componente. Estes cinco primeiros fatores se intercorrelacionam e ajudam a explicar 71% da variância total das características do meio físico.

O **fator 6**, que compõe 5% e explicam 75,1% da variação total acumulada (Tabela 15), é também dominado por características químicas da camada superficial (Tabela 16), apresentando altos coeficientes de correlação, ou seja, a saturação por bases (V%) (V1), a soma de bases (SB1) e os teores de potássio (K1) foram as

propriedades químicas responsáveis pela variância deste fator. Era de se esperar também, que em solos muito pobres, como os do presente estudo, a maior saturação por bases ($V\% = \frac{\sum Ca^{2+} + Mg^{2+} + K}{CTC} \times 100$), estivessem diretamente correlacionadas com maiores teores de potássio e de MO. A alta correlação positiva entre estas variáveis já foi comentada anteriormente.

No **fator 7**, a água disponível da camada subsuperficial (ADISP2), a profundidade efetiva (PROEFE), e a proporção de silte da camada superficial (SILTE1) foram as variáveis que melhor explicaram a variação deste fator, com contribuição de 4% e perfazendo uma variância total acumulada de 79%. Nesse fator, em particular, pode-se inferir que a água disponível está diretamente correlacionada com a profundidade efetiva dos solos e indiretamente, com a presença de frações granulométricas mais grosseiras, tais como o silte.

Ainda, pela Tabela 15, pode-se observar que nos demais fatores retidos para análise, a importância, nos **fatores 8 e 9**, da variável fósforo, tanto da camada superficial (P1), quanto da camada subsuperficial (P2), explica uma variação total acumulada (até o fator 9) de 86%. No **fator 10** o destaque é para a variável soma de bases da camada subsuperficial (SB2), a qual explica 3% da variância total. Por fim, no **fator 11**, o substrato geológico, contribui individualmente com 2% da explicação da variância total, perfazendo 91% da variação total acumulada para estes onze fatores.

Mais uma vez aqui, estas duas análises estatísticas, ACP e Fatorial, vêm confirmar a tendência geral das análises de trilha e canônicas feitas nos itens de discussão anteriores, onde se percebe claramente a importância das variáveis físico-hídricas, tanto da camada superficial quanto subsuperficialmente, na contribuição da explicação da variação total quanto ao grupo geral das variáveis explicativas.

4.6.2 Análise de Regressão por Componentes Principais e Seleção da Melhor Equação de Regressão Linear Múltipla

Visando identificar a melhor equação de regressão para o Índice de Sítio aos 15 anos de idade (IS_15) para *P. taeda*, a partir de 49 variáveis independentes, relacionadas às características do meio físico, utilizou-se da técnica de análise de regressão linear múltipla (RLM) por componentes principais.

As variáveis regressoras foram selecionadas em duas etapas: na primeira, identificou aquelas mais significativas pelas análises multivariadas de componentes principais (ACP) e fatoriais (Tabela 16). Obtevem-se então, onze fatores significativos, os quais foram submetidos, na segunda etapa, à análise de regressão através do procedimento passo a passo (*stepwise*).

A redução de variáveis pela ACP proporcionou 9 % de perda de informação sobre a variância total, de forma que, os modelos gerados a partir destes componentes lineares preservaram uma explicação de 91 % da variabilidade contida nos dados. Segundo Royston (1992), deve-se fazer a análise exploratória dos dados para se verificar a normalidade dos resíduos para a composição do modelo de regressão. Nesse contexto, pela Tabela 17 verifica-se a análise de variância e pela Tabela 18, os coeficientes do modelo de regressão definido. Por outro lado, as variáveis selecionadas para a escolha do melhor modelo de regressão são apresentadas na equação 4.1.

TABELA 17 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO MÚLTIPLA DO ESTÁGIO Nº 19 DO MÉTODO PASSO A PASSO, PARA O CONJUNTO DE VARIÁVEIS INDEPENDENTES DO PRESENTE ESTUDO

Fontes de Variação	G.L.	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F ₀	Pr > F ₀
Regressão	5	4609.03071	921.80614	162.71	< 0.0001
Resíduo	11	62.31929	5.66539		
Total	16	4.671.35			

TABELA 18 - COEFICIENTES DO MODELO DE REGRESSÃO* DOS FATORES DO MEIO FÍSICO ATRAVÉS DO MÉTODO PASSO A PASSO (*STPEWISE*) NA ÁREA PILOTO Nº 1 DA MOBASA

Coeficientes (β_i)	Parâmetro Estimado	Erro	t	Pr > t
β_1	-5.20392	2.10213	-2,47555	0,03082
β_2	21.5549	5.38309	4,00418	0,00207
β_3	0.01799	0.00768	2,34109	0,03910
β_4	9.04679	0.70485	12,83509	< 0,0001
β_5	0.39932	0.06772	5,89679	0,00010

*Coeficiente de Determinação do Modelo: $R^2 = 0,9867$.

$$IS_{15_{est}} = \beta_1 KPA1_{10} + \beta_2 KPA2_{10} + \beta_3 HAL1 + \beta_4 DENSID1 + \beta_5 MO1 + \varepsilon \quad (4.1)$$

Em que:

- IS_15_{est}: Índice de Sítio estimado para *P. taeda* com 15 anos de idade (m);
- KPA1_10: Água retida pelo solo ($cm^3.cm^{-3}$) à tensão de 10 kPa na camada superficial (5 – 10 cm) (teor de umidade na capacidade de campo – CC);
- KPA2_10: Água retida pelo solo ($cm^3.cm^{-3}$) à tensão de 10 kPa na camada subsuperficial (30 – 50 cm) (teor de umidade na capacidade de campo – CC);
- HAL1: Teores de hidrogênio + alumínio trocáveis ($cmol_c.dm^{-3}$), na camada superficial (5 – 10 cm);
- DENSID1: Densidade do solo ($kg.dm^{-3}$) na camada superficial (5 – 10 cm);
- MO1: Teor de matéria orgânica ($g.dm^{-3}$), na camada superficial (5 – 10 cm);
- ε : Erro Residual;
- $\beta_1, \dots, \beta_5 =$ Coeficientes parciais da RLM.

Nota-se, mais uma vez por esta análise, que entre todas as variáveis selecionadas, para compor o modelo preditivo, os fatores físico-hídricos foram os mais importantes, visto que apresentaram os maiores coeficientes. Corroborando com as análises multivariadas feitas anteriormente.

A análise da distribuição dos resíduos em função dos valores preditos permitiu verificar a distribuição homocedástica dos erros, assim com a ausência de

dados discrepantes “*outliers*”. O ajuste do modelo foi bom para toda a extensão analisada validando-o para estimar o Índice de Sítio em função das variáveis escolhidas. Entende-se, por estas análises, que solos com alta densidade aparente na camada superficial, aliado aos maiores teores de matéria orgânica nesta camada ou seja, solos com características de texturas mais grosseiras em superfície, se mostraram mais adequados para o crescimento da espécie de *P. taeda*, nas condições ambientais locais.

4.7 UNIDADES DE MANEJO (UM's) PARA *P. taeda*

4.7.1 Formação de Grupos Similares de Parcelas de Inventário Florestal

Procurou-se agrupar as parcelas de inventário florestal segundo suas semelhanças quanto ao Índice de Sítio para o *P. taeda* e de suas características físico-hídricas e químicas dos solos e parâmetros de posicionamento, previamente selecionadas pelos métodos de ACP e Fatorial para formar Unidades de manejo.

Objetivou-se com isso, reunir as parcelas em grupos, de modo a existir homogeneidade dentro e heterogeneidade entre os grupos. Posteriormente, correlacionaram-se estes grupos formados com as classes de solos identificadas em cada parcela por meio de correlações canônicas, a fim de se verificar a importância da classificação dos solos para a espécie *P. taeda*.

O primeiro passo, da análise de agrupamento, consistiu em determinar as medidas de dissimilaridades entre as parcelas de inventário florestal, dentro de cada fazenda e dentro da área piloto nº 1, o qual foi o escolhido para este tipo de análise, pelo fato de possuir em torno de 80% dos dados gerais. Estas medidas de dissimilaridades foram obtidas pela distância generalizada de “Mahalanobis (D^2)” (Tabela 19), onde permitiu avaliar a divergência entre as parcelas de inventário florestal contínuo – PIFC's –, dentro de cada fazenda.

Nesse contexto, utilizou-se de três técnicas de agrupamento hierárquicas, como métodos para a formação dos grupos homogêneos entre as parcelas de inventário florestal contínuo, de modo que os elementos pertencentes a um mesmo grupo fossem similares entre si com respeito à principal característica entre as variáveis de produtividade e as independentes obtidas pelas análises de ACP e de Fatores, quais sejam: o método de “WARD”, dos “Centróides” e das “Médias das Distâncias - *Average Linkage*”, aplicadas a partir da matriz de dissimilaridade.

Os dendrogramas dos três métodos analisados apresentaram resultados semelhantes. Desta forma, procurou-se fazer a interpretação em apenas um deles, ou seja, o método das “Médias das Distâncias”.

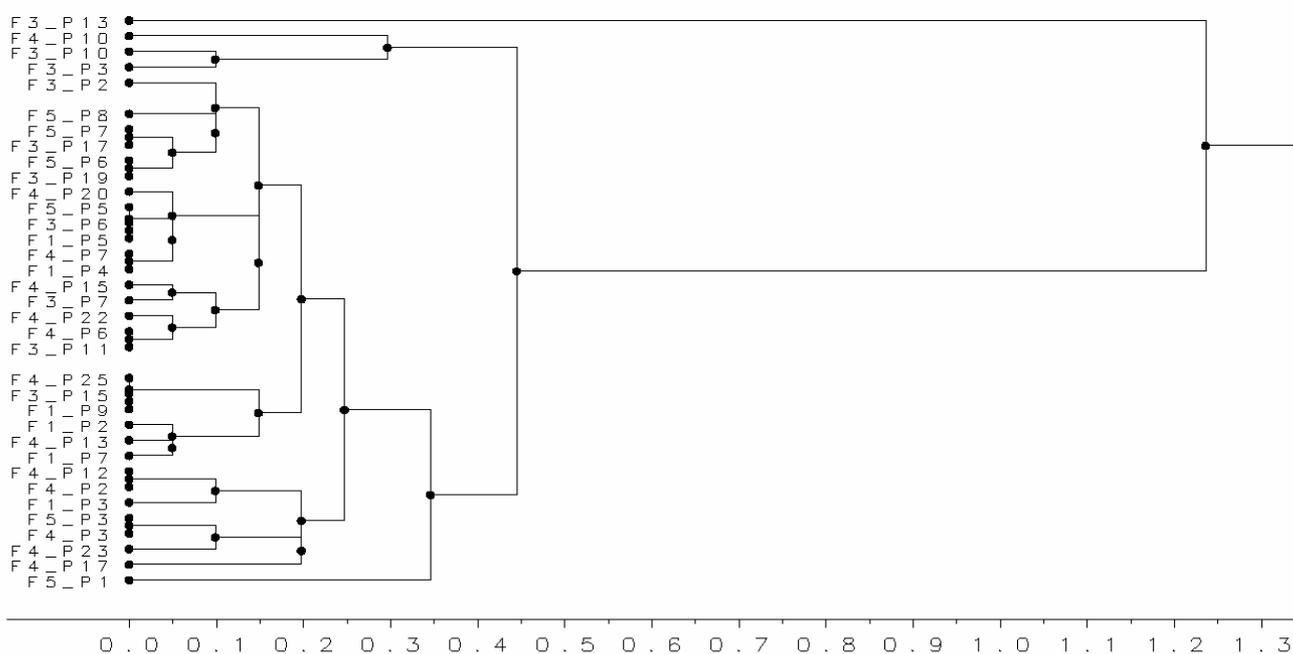
Este método (Figura 12) faz a separação em vários grupos, descritos da seguinte forma: o primeiro passo desta análise de agrupamento foi separar, ou seja, fazer a “partição” das parcelas de inventário. Neste caso, o grupo da parcela F3_P13 foi o mais divergente entre todos os grupos do dendrograma. Ele foi tratado como a primeira “partição” entre as parcelas estudadas, ou seja, de um lado havia este grupo e de outro lado havia o grupo formado pelo conjunto de todas as outras parcelas. Por outro lado, procurou-se formar os grupos partindo da última separação para a primeira, a saber:

Grupo 1 – O primeiro grupo formado é o que apresenta a maior similaridade dentre todas as parcelas. É, na verdade, a última “partição” das parcelas de inventário, ou seja, contém num mesmo plano de similaridade (mesma distância de Mahalanobis) as parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, F5_P7 e F3_P17 com F5_P6 e F3_P19;

Grupo 2 – No mesmo plano de similaridade que o grupo anterior, contendo duas parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, é formado por F4_P7 e F1_P4 com F4_P20 e F5_P5, F3_P6 e F1_P5;

Grupo 3 – Também, no mesmo plano de homogeneidade, ou seja, guardando a mesma distância generalizada de Mahalanobis, contém três parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, formadas pelo grupo 2 tendo proximidades com a parcela F4_P15 com F3_P7;

FIGURA 12 - DENDROGRAMA ILUSTRATIVO DA SIMILARIDADE ENTRE AS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO, OBTIDO PELO MÉTODO DAS “DISTÂNCIAS MÉDIAS – *AVERAGE LINKAGE*”, CONSIDERANDO AS PRINCIPAIS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS DE ONZE FATORES (BASEADOS NA ANÁLISE FATORIAL) NA ÁREA PILOTO Nº1, NA MOBASA, EM RIO NEGRINHO – SC



Grupo 4 – Ainda, na mesma distância de Mahalanobis, há três outras parcelas homogêneas, dentro de suas respectivas fazendas, formadas por F4_P6 junto a F3_P11 e F4_P22;

Grupo 5 – Na mesma distância de Mahalanobis, há três outras parcelas homogêneas, dentro de suas respectivas fazendas, formadas por F1_P2 e F4_P13 e F1_P7;

Grupo 6 – Formado pelas parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, F3_P10 com F3_P3;

- Grupo 7** – Formado pela junção das parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, F3_P2 e F5_P8 tendo proximidades com o grupo G1;
- Grupo 8** – Formado pelo grupo G3 tendo proximidades com o grupo G4;
- Grupo 9** – Contém três parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, formado por F4_P12 e F4_P2 tendo proximidades com a parcela F1_P3;
- Grupo 10** – Contém três parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, formado por F5_P3 e F4_P3 tendo proximidades com a parcela F4_P23;
- Grupo 11** – Formado pela junção dos grupos G2 com G7 e G8;
- Grupo 12** – Formado pela junção das parcelas, dentro de suas respectivas fazendas, F4_P25, F3_P15 e F1_P9 tendo proximidades com o grupo G5;
- Grupo 13** – Formado pela junção dos grupos G11 com o grupo G12;
- Grupo 14** – Na mesma distância de Mahalanobis que o grupo G13, este grupo é formado pela junção da parcela, dentro de sua respectiva fazenda, F4_P17 tendo proximidades com os grupos G9 e G10;
- Grupo 15** – Formado pela junção da parcela, dentro de sua respectiva fazenda, F4_P10 tendo proximidades com o grupo G6;
- Grupo 16** – Formado pela junção dos grupos G13 com o grupo G14;
- Grupo 17** – Formado pela junção dos grupos G15 com o grupo G16;
- Grupo 18** – Finalmente, contendo uma parcela, dentro de sua respectiva fazenda, formada por F3_P13, que difere de todas as demais. Portanto, este é o grupo mais divergente entre as parcelas de inventário florestal contínuo analisadas na área piloto nº 1.

Por outro lado, a Tabela 20 mostra a distribuição das PIFC's, dentro de cada fazenda, dentro dos grupos formados, baseados em todas as variáveis explicativas que integram os onze fatores significativos, comentados anteriormente, e através da aplicação do método das “Médias das Distâncias”, segundo suas similaridades.

Assim, as informações geradas por estas análises de agrupamentos foram comparadas com as classes de solos mapeadas em cada parcela de inventário florestal, com o objetivo principal de verificar se a identificação da classe de solo permitia fazer inferências sobre a sua capacidade preditiva diante desta espécie florestal.

No primeiro agrupamento (grupo I) (Tabela 20), as parcelas de inventário florestal, apresentaram-se com coeficientes idênticos em relação à distância de Mahalanobis (D^2), ou seja, apresentam-se, entre si, distanciamento nulo. No entanto, diferiram quanto às classes de solos (Tabela 21). Nota-se que algumas parcelas estão sob o domínio de classes de solos (vide Quadro 2, p.43) tais como o NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico Húmico, textura média (RRaH) (Figuras 13A e 13B); enquanto outras parcelas estão sob o domínio do CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico (CHa1) (Figura 14A) e, ainda, algumas parcelas estão sob o domínio do CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico saprolítico (CHa3) (Figura 14B). No que tange à correspondência do agrupamento das parcelas de inventário florestal contínuo (PIFC's) com a classe de solo, já no 1º nível, conforme o sistema brasileiro de classificação de solos – SiBCS (EMBRAPA, 2006), verifica-se, para este grupo I, que não há nenhuma correspondência entre elas.

No entanto, nos demais níveis subseqüentes da classificação brasileira, observam-se que os solos são semelhantes, ou seja, nos caracteres “Alumínico”, “Húmico” e na “classe textural”. Semelhanças inclusive no caráter “saprolítico” - (derivado do termo saprolito), o qual, segundo Curi et al. (1993), é a parte do perfil de alteração de um solo, em que o manto de alteração é constituído essencialmente de uma mistura de minerais secundários e primários (principalmente em tamanhos areno-siltosos, ou seja, tamanhos iguais ou superiores a 0,05 mm), derivados de rochas ígnea, metamórfica ou sedimentar pela ação do intemperismo químico e que mantém vestígios de estrutura original da rocha. É comumente reconhecido como um produto de alteração da rocha *in situ*, isovolumétrico e denominado como horizonte C.

FIGURA 13 - PERFIS DE NEOSSOLO REGOLÍTICO Alumínico húmico (A) e (B), NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO – SC

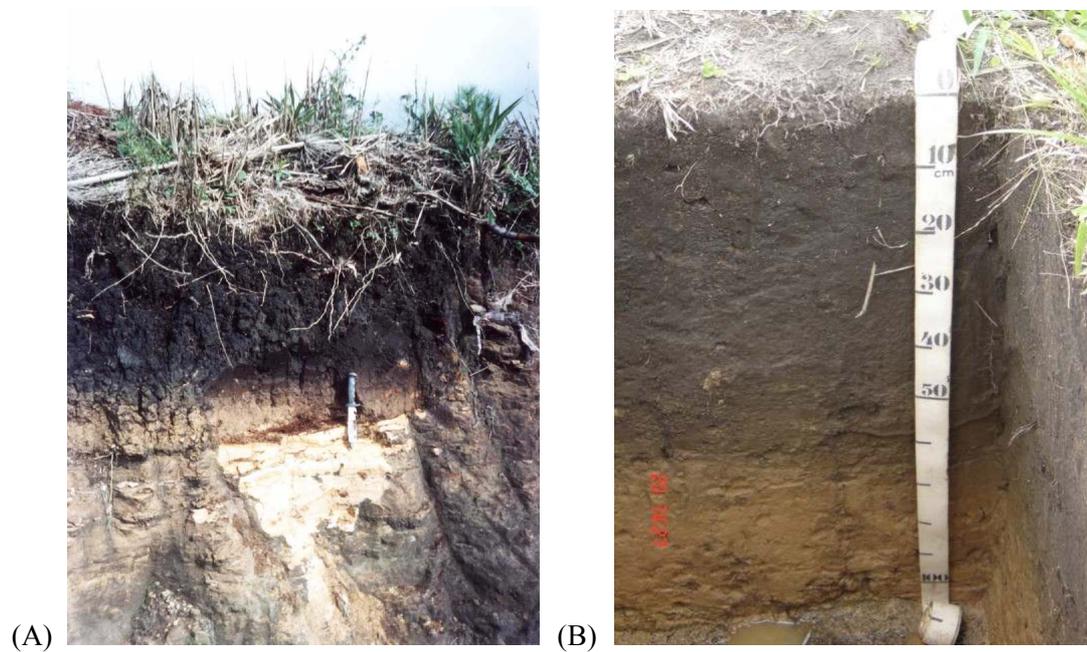


FIGURA 14 - PERFIS DE CAMBISSOLO HÚMICO Alumínico típico (A); CAMBISSOLO HÁPLICO Alumínico saprolítico (B), NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO – SC.

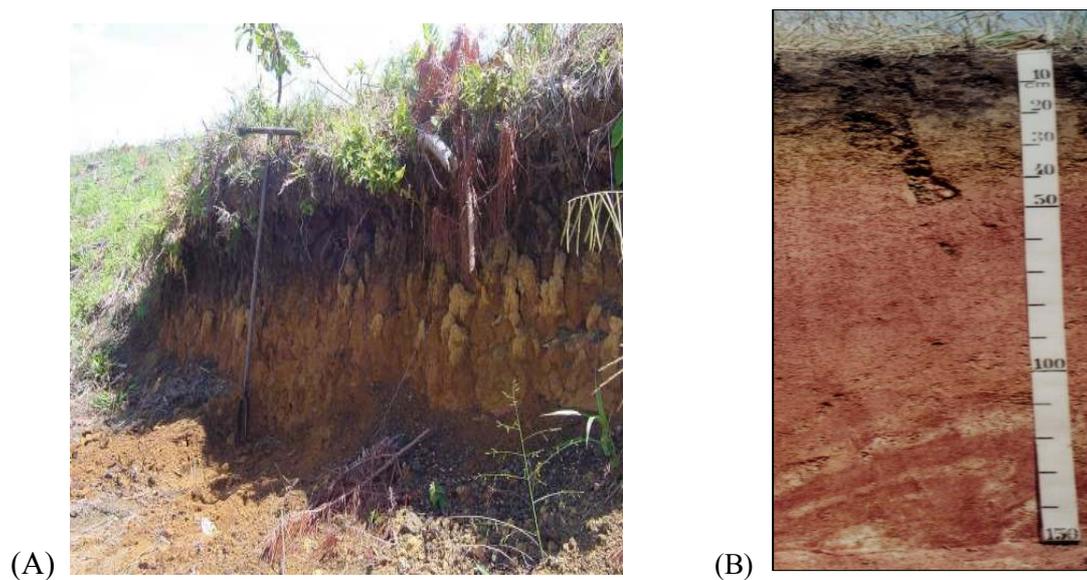


TABELA 20 - AGRUPAMENTO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO, OBTIDO PELO MÉTODO DAS “DISTÂNCIAS MÉDIAS” NA ÁREA PILOTO Nº1, NA MOBASA, EM RIO NEGRINHO – SC

GRUPOS	PARCELAS					
1	F5P7*	F3P17	F5P6	F3P19		
2	F4P7	F1P3	F4P20	F5P5	F3P6	F1P5
3	F4P15	F3P7				
4	F4P6	F3P11	F4P22			
5	F1P2	F4P13	F1P7			
6	F3P10	F3P3				
7	F3P2	F5P8	G1			
8	G3	G4				
9	F4P12	F4P2	F1P3			
10	F5P3	F4P3	F4P23			
11	G2	G7	G8			
12	F4P25	F3P15	F1P9	G5		
13	G11	G12				
14	F4P17	G9	G10			
15	F4P10	G6				
16	G13	G14				
17	G15	G16				
18	F3P13					

F*P* = nº da fazenda de estudo e da parcela de inventário florestal contínuo, respectivamente.

Esse manto de alteração pode ter grande espessura em regiões sob climas úmidos tropical e subtropicais, principalmente quando derivado de rochas ígneas ou metamórficas -, já que na classe dos NEOSSOLOS REGOLÍTICOS, este manto saprolítico é condição prioritária para definição da “sub-ordem”.

Portanto, o CAMBISSOLO, só se diferencia do NEOSSOLO REGOLÍTICO, por possuir um horizonte Bi maior que 10 cm de espessura, com as demais características semelhantes para estas duas classes de solos.

TABELA 21 - CORRESPONDÊNCIAS DOS GRUPOS DAS PARCELAS DE INVENTÁRIO FLORESTAL CONTÍNUO COM AS CLASSES DE SOLOS, NA ÁREA PILOTO Nº1, NA MOBASA, EM RIO NEGRINHO – SC

GRUPOS	CLASSES DE SOLOS					
1	CHa1*	CHa3	RRaH	CHa1		
2	CHa1	CHag	RLHt	CHa3	CHa1	PAC
3	CHa1	CHa3				
4	CHag	CHa1	CHa1			
5	PAC	CHa1	CHa1			
6	CHa1	PAC				
7	CHa1	CHa1	G1			
8	G3	G4				
9	CHa1	CHa1	CHa1			
10	CHa3	CHa1	CHa1			
11	G2	G7	G8			
12	CHag	CHag	CHa1	G5		
13	G11	G12				
14	CHa3	G9	G10			
15	CHa1	G6				
16	G13	G14				
17	G15	G16				
18	CHa1					

* = Classes de Solos (EMBRAPA, 2006) associadas a cada PIFC's da Tabela 20.

No segundo agrupamento (grupo II), as parcelas envolvidas apresentaram-se bem próximas em relação à distância de Mahalanobis (D^2) (Tabela 19), estando a maioria delas inclusa na mesma classe de solos até o 3º nível do SiBCS (EMBRAPA, 2006) (Tabela 21). Apenas se diferenciam no 4º nível, ou seja, a primeira e quinta parcelas apresentam o caráter típico (horizonte Bi com espessura superior a 100 cm), enquanto a segunda parcela, apresenta o caráter gleico (hidromorfismo entre 50 e 100 cm de espessura) e a quarta parcela apresenta o caráter saprolítico (horizonte C ou Cr, entre 50 e 100 cm de profundidade).

Já a terceira parcela pertence à classe dos NEOSSOLOS LITÓLICOS enquanto a sexta parcela está sob o domínio dos ARGISSOLOS ACINZENTADOS. Mas como todas as classes de solos são de textura média leve (< que 20% de argila) ou arenosa/média leve, este caráter saprolítico ou a pequena profundidade do Neossolo fizeram poucas diferenças em termos de respostas do pinus às condições físico-hídricas dos solos.

No terceiro agrupamento (grupo III), as mesmas considerações feitas anteriormente para as parcelas do agrupamento II, também aqui são mantidas, em vista de que parte das classes de solos é semelhante em termos de características limitantes. Portanto, observa-se que há características de solos um pouco diferentes para agrupamentos semelhantes.

Nos demais grupos obtidos, repetem-se as considerações já feitas anteriormente. Verifica-se, portanto, que em muitos casos, tinha-se um grupo homogêneo de parcelas de inventário florestal no que tange às características do grupo identificado e, no entanto, possuíam classes de solos diferentes. Outras vezes, apesar de todas as situações levarem à mesma classe de solo, até o quarto nível categórico do SiBCS, as respostas do *P. taeda* à taxa de crescimento foram diferentes entre as parcelas, o que levou à distribuição em grupos distintos.

Os resultados demonstram ainda, que em vários grupos, apesar das classes de solos serem diferentes (em termos de denominação), elas possuem muitas semelhanças entre si. Alguns exemplos: 1) no grupo 1, o RRaH é semelhante ao CHa₁ pelo horizonte A do tipo “húmico” e por ambos apresentarem camada saprolítica espessa. Apenas os Cambissolos possuem horizonte Bi superior a 10 cm de espessura e os Neossolos Regolíticos, não o apresentam e ou se presente, o horizonte Bi é inferior a 10 cm de espessura. Estas duas classes de solos possuem ainda, altos teores de matéria orgânica (6 a 10%) até profundidades de 60 cm.

É claro que esta característica e a presença do saprolito (que conduz à maior aeração subsuperficial) devem sobrepor a qualquer tipo ou ausência de horizonte Bi nos perfis de solos estudados; 2) mesma conclusão se dá para o grupo 3, em vista de que tanto o CHa₁ quanto o CHa₃ possuem semelhanças em atributos que os levaram

a pertencerem à mesma “ordem”, “sub-ordem” e “grande grupo”, diferindo-se apenas no quarto nível, onde o primeiro apresenta caráter típico, ou seja, possui horizonte Bi com espessura superior a 100 cm da superfície do solo. Já o Segundo é saprolítico neste nível categórico, ou seja, apresenta horizonte C ou Cr entre 50 e 100 cm de espessura da superfície do solo. Possuem ainda, a mesma classe textural (no 5º nível categórico).

Também apresentam horizontes “A” espessos (> 50 cm) e com altos teores de matéria orgânica, sendo regulados, provavelmente, mais pelas características do horizonte superficial do que por esta característica subsuperficial, tanto é que segundo as análises de componentes principais e de fatores, os teores de matéria orgânica têm coeficientes significativos tanto na explicação da variância total acumulada do segundo quanto quinto fatores, inclusive neste último apresenta-se como a principal variável explicativa;

No décimo-oitavo agrupamento (grupo 18), inclui-se a parcela 13, da fazenda “Cerro Azul A” (nº 3)”. Este grupo é o mais divergente dentre todos os grupos do dendrograma. Sua parcela é separada, de todas as outras, já no primeiro passo da análise de agrupamento. No entanto, esta parcela F3_P13 possui semelhanças, quantos aos tipos de solos, com muitas outras parcelas de outros grupos formados.

Isto demonstra que a classe de solo, per si, não consegue detectar as diferenças significativas entre as parcelas estudadas até o quarto nível categórico do Sistema para o segmento florestal. Por outro lado, o novo SiBCS da Embrapa, está ainda em desenvolvimento e, prevê-se que no quinto (famílias) e sexto (séries) níveis categóricos, a coleção de critérios venha a abranger os variados atributos diagnósticos, a par de diferentes tipos de horizontes A, com suas diversas espessuras; com relação à subdivisão das classes texturais, que precisam ser mais bem subdivididas, principalmente, no que concerne à definição da seção de controle; com bases em propriedades físicas, químicas e mineralógicas, além de propriedades que reflitam as condições do ambiente, como características físico-hídricas.

Em outros trabalhos, ainda não publicados, do autor desta pesquisa, verificou-se que a classificação dos solos até o quarto nível hierárquico, segundo o

novo SiBCS (EMBRAPA, 2006), ainda não consegue expressar importantes diferenças entre os solos quanto às suas características intrínsecas.

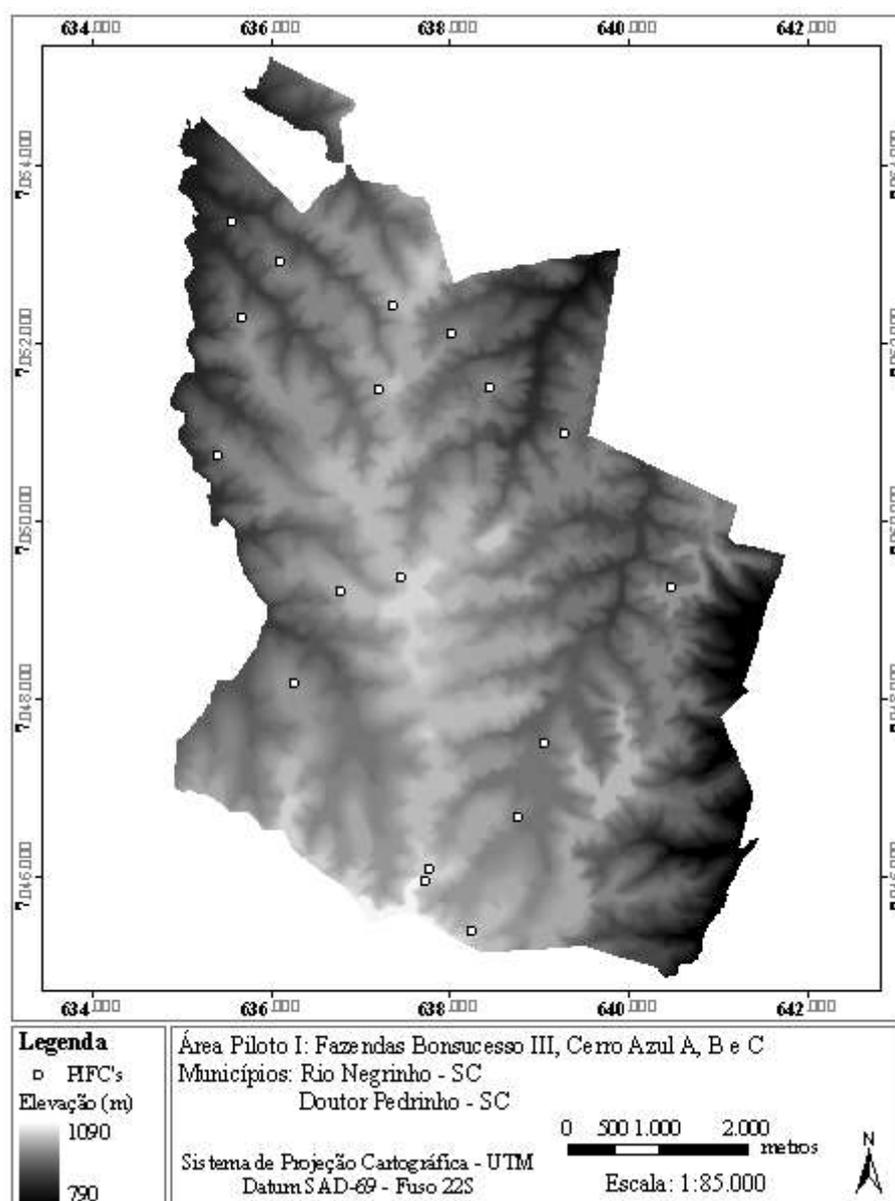
Digno de nota é o caso de algumas classes de solos no litoral catarinense, como por exemplo, a classe dos ESPODOSSOLOS CÁRBICOS Órticos hidromórficos, que apesar de apresentarem o mesmo atributo diagnóstico até o quarto nível categórico, ou seja, permanecerem saturados com água em um ou mais horizontes, dentro de 100 cm da superfície do solo, durante alguns meses na maioria dos anos (ou artificialmente drenados) e que, apresentam um horizonte B espódico saturado com água (EMBRAPA, 2006), não se comportam da mesma maneira, para a espécie de *Eucalyptus grandis*, visto que se o lençol freático permanece, na maior parte do ano, a 20 cm, 50 cm, 75 cm ou 95 cm da superfície do solo, apesar de todas as situações levarem à mesma classe de solo até o quarto nível, as respostas da espécie em questão à sua sobrevivência e ou taxa de crescimento é totalmente diferente uma em relação à outra.

4.7.2 Unidades de Manejo para *P. taeda* com Base em Técnicas de Geoestatística e Geoprocessamento

As unidades de manejo para *P. taeda* (UM's) foram delimitadas através da integração de técnicas de sistemas de informações geográficas (SIG/ArcGis) e de geoestatísticas aplicadas no estudo da relação entre potencial produtivo (baseado no Índice de Sítio para idade de 15 anos – IS₁₅) e atributos do meio físico (solo, relevo, geologia etc.) na área piloto nº 1, com suas respectivas parcelas de inventário florestal contínuo (Figura 15).

Assim, procurou-se fazer uma análise de componentes principais para o grupo de variáveis explicativas determinadas pela equação 4.1 (p.96) da análise de regressão linear múltipla, a fim de se obter três grupos de componentes principais (CP1, CP2 e CP3) para a estimativa da variável principal IS₁₅. Nesse contexto, a Tabela 22 mostra os componentes principais obtidos com seus autovalores que apresentaram percentuais de variância de 8,13% a 43,92%.

FIGURA 15 - LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS DE INVENTÁRIOS FLORESTAIS CONTÍNUOS NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO - SC



Somente os cinco primeiros componentes apresentaram autovalores superiores a 1 e, ao mesmo tempo, ajudaram a explicar 90% da variância total. No entanto, pela limitação do uso de apenas três variáveis ou grupo de componentes principais do software ArcGis 9.1, para o método da Co-krigagem multivariada, tem-se 72% de percentual da variância total acumulada associada até o terceiro

componente principal (CP1 a CP3), o que mostra uma tendência de estimativa promissora, via Co-krigagem multivariada, do IS_15 nos locais não amostrados.

Desta forma, procurou-se avaliar, via análise variográfica, se todos os três componentes principais escolhidos pela técnica ACP, apresentavam-se estruturados espacialmente, ou seja, se existia uma função estrutural, com semivariância de comportamento modelável. Assim, foi aplicado o método da Co-krigagem Ordinária Multivariada, pelo software ArcGis 9.1 – módulo geoestatística, tendo como variável principal o IS_15 e como variáveis secundárias, os três componentes principais (CP1 à CP3).

Para o método aplicado, o modelo exponencial foi o que melhor se ajustou ao semivariograma experimental. Os ajustes dos parâmetros estão apresentados na Tabela 23 e, na Figura 16, encontra-se o semivariograma deste modelo ajustado. Para verificar o grau de dependência espacial, entre as características, utilizou-se da relação entre a variação estruturada e o patamar (DE%). Essa relação foi relatada em trabalhos desenvolvidos por Biondi et al. (1994) que estudaram o comportamento espacial do diâmetro à altura do peito e da área basal em floresta natural de *P. ponderosa*, e também, por Mello (2004), em estudo de geoestatística aplicada ao inventário florestal.

TABELA 22 - AUTOVALORES (λ) DE CINCO COMPONENTES PRINCIPAIS (CP) EXTRAÍDAS DA MATRIZ DE CORRELAÇÃO DAS VARIÁVEIS EXPLICATIVAS (INDEPENDENTES) OBTIDAS DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA, PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ASSOCIADAS DO PRIMEIRO AO QUINTO COMPONENTE PRINCIPAL, E PERCENTUAIS DAS VARIÂNCIAS ACUMULADAS

CP	Autovalores (λ)	% Variância da CP	% Var. Acumulada
1	5,7090	43,92	43,92
2	2,2998	17,69	61,61
3	1,3775	10,60	72,21
4	1,1915	9,17	81,38
5	1,0566	8,13	89,51

TABELA 23 - ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS “EFEITO PEPITA (τ^2), VARIAÇÃO ESTRUTURADA (σ^2), PATAMAR ($\tau^2 + \sigma^2$), ALCANCE (\emptyset) E RELAÇÃO VARIAÇÃO ESTRUTURADA/PATAMAR (DE%) DO MODELO EXPONENCIAL AJUSTADO À ESTRUTURA DE CORRELAÇÃO ESPACIAL DA VARIÁVEL “IS_15” EM FUNÇÃO DE TRÊS COMPONENTES PRINCIPAIS

Variável	Nº Obs.	τ^2	σ^2	$(\tau^2 + \sigma^2)$	\emptyset (m)	DE(%)	MOD
IS_15= f(CP1+CP2+ CP3)	18	0,5519	2,168	2,720	7.112,0	79,7	Exponencial

Na Tabela 23, verificou-se que o Índice de Sítio (IS_15) em função dos componentes principais “CP1”, “CP2” e “CP3”, apresentou uma forte dependência espacial (DE%), com percentual da ordem de 80%. Na classificação de Cambardella et al. (1994), que trabalharam com atributos do solo, quando a relação for maior ou igual a 75%, diz-se que há uma forte dependência espacial. Isto mostra que houve uma ótima estimativa, nos locais não amostrados, do IS_15 com o modelo exponencial.

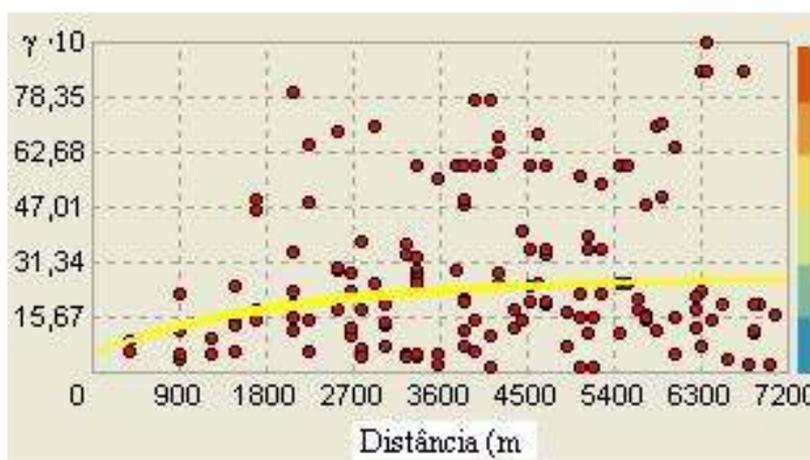


FIGURA 16 - SEMIVARIOGRAMA AJUSTADO PARA O ÍNDICE DE SÍTIO, EM FUNÇÃO DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1, CP2 E CP3)

O fato do IS₁₅ ter apresentado forte correlação espacial é um ótimo indicativo do potencial da técnica de Co-krigagem Ordinária Multivariada na definição das unidades de manejo para *P. taeda* (UM's).

O raio de alcance por volta de 3.600 m, apresentado nesta Tabela 23 e Figura 16 (a qual mostra o diâmetro em torno de 7.112 m), são chamados de alcance teórico, uma vez que este parâmetro no modelo exponencial é considerado infinito (JOURNEL e HUIJBREGTS, 1978). Este valor de “alcance” corresponde ao diâmetro das áreas consideradas homogêneas para cada característica (definida pelas componentes principais).

Desta forma, com os resultados alcançados do modelo exponencial, foi possível obter uma malha de pontos interpolados que permitiu visualizar o comportamento do IS₁₅, estimado via componentes principais, por meio de isolinhas ou contorno e ou superfícies contínuas, recursos importantes para se definir a espacialização de quatro unidades de manejo (UM's) diferenciadas para o *P. taeda* (Figura 17). A Figura 18 permite verificar o grau da relação entre os dados dos IS₁₅ - determinada via equação do SISPINUS (OLIVEIRA, 1995) -, com o mapa das UM's para o *P. taeda* obtido através do modelo exponencial geoestatístico.

As análises dos resíduos revelaram distribuição normal homocedástica pelo teste de Shapiro-Wilk ($w = 0,953$; $p_valor = 0,480$), indicando um excelente ajuste do modelo, com erro quadrático médio de 0,40. Seguramente, este conjunto de componentes principais que ajudam a explicar 72,2% da variância total na área do presente estudo (Tabela 22), proporciona ótima estimativa do Índice de Sítio nos locais não amostrados da presente área de estudo.

FIGURA 17 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO “ÍNDICE DE SÍTIO, IS_15” COM VALORES PREDITOS POR CO-KRIGAGEM MULTIVARIADA ORDINÁRIA UTILIZANDO-SE DE VARIÁVEIS DO MEIO FÍSICO, SELECIONADAS POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E DE FATORES, NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO, SC

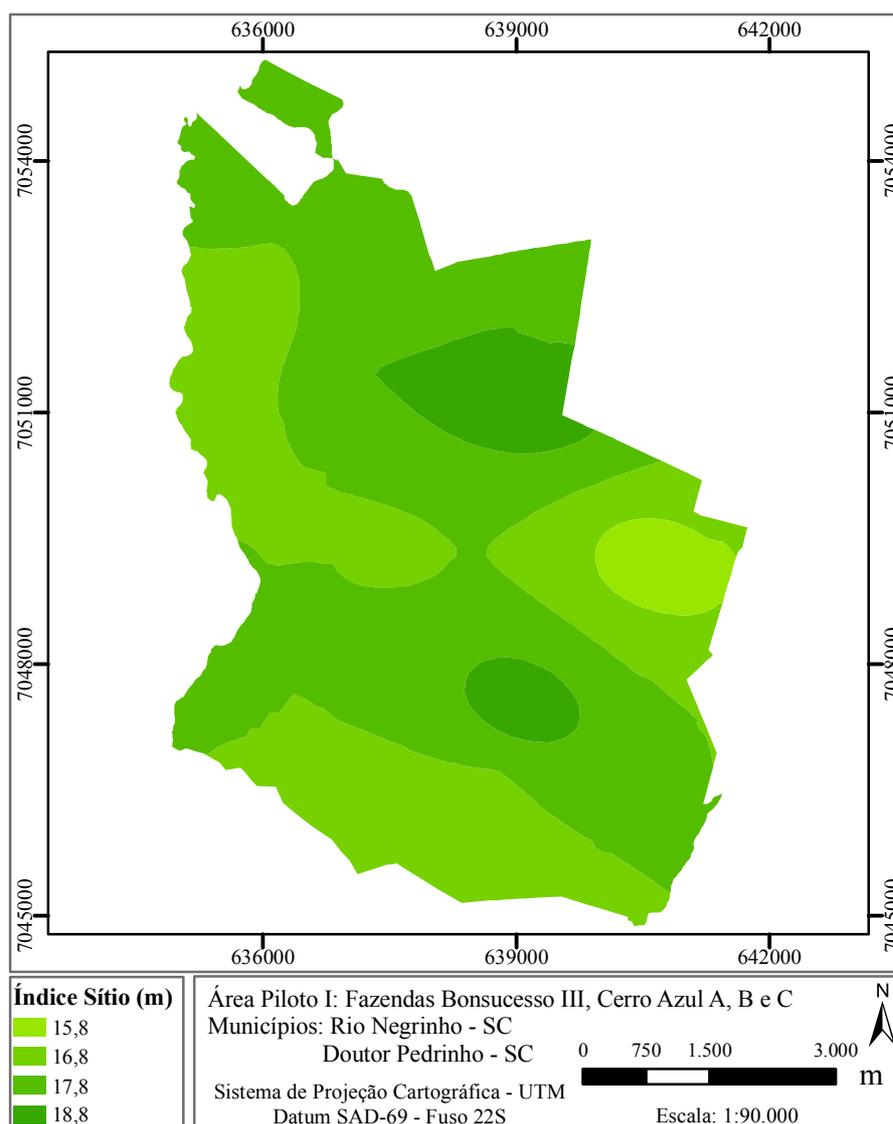
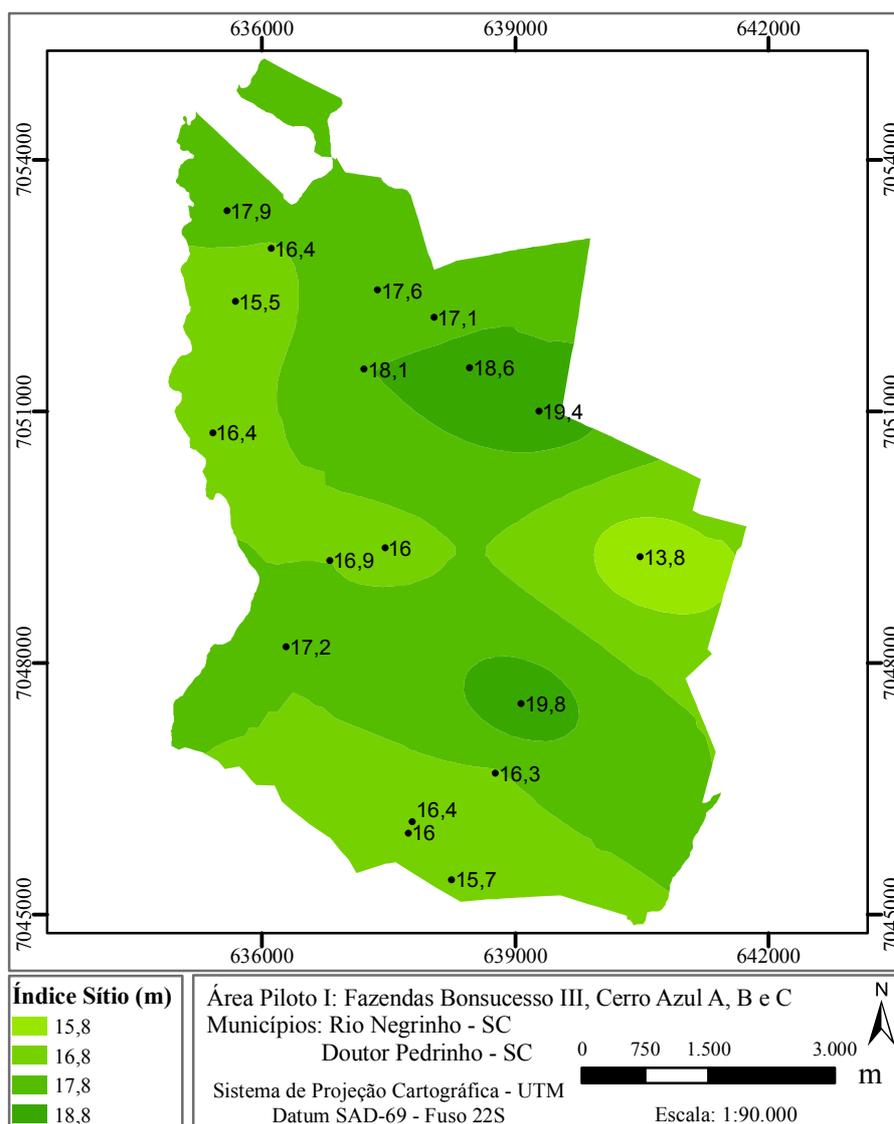


FIGURA 18 - MAPA DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO “ÍNDICE DE SÍTIO, IS₁₅” MÉDIO OBTIDO PELA EQUAÇÃO DO PROGRAMA “SISPINUS” COM O “IS₁₅” PREDITO POR CO-KRIGAGEM MULTIVARIADA ORDINÁRIA UTILIZANDO-SE DE VARIÁVEIS DO MEIO FÍSICO, SELECIONADAS POR ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS E DE FATORES, NA ÁREA PILOTO Nº 1, EM RIO NEGRINHO, SC



4.7.3 Recomendações Práticas para Unidades de Manejo Definidas

A importância da estimativa volumétrica de madeira e do Índice de Sítio de forma mais precisa numa empresa se deve a diversas razões. Dentre elas, destacam-se àquelas ligadas ao Setor de Planejamento e Colheita Florestal. Neste caso, a definição destas “Unidades de Manejo” baseada numa “Silvicultura de Precisão” pode, em muitos casos, contribuir de forma adequada para tal propósito. No entanto, outras razões interessam às empresas do ramo florestal, tais como:

1) Diminuir os custos com a manutenção e processamento da rede de parcelas permanentes, denominadas de “Parcelas de Inventário Florestal Contínuo” que são significativos, tanto para as avaliações efetuadas durante o ciclo da floresta, quanto nos inventários de pré-corte;

2) Após o trabalho de definição das unidades de manejo, que visa identificar áreas com mesma capacidade produtiva, interessa às empresas como avaliar suas características, no sentido de fornecer subsídios para a definição de técnicas de manejos mais apropriadas a cada situação, considerando os aspectos de sustentabilidade da produção e maximização da rentabilidade da atividade florestal, em vista de algumas UM's apresentarem produtividades bem abaixo do esperado para uma silvicultura de precisão.

Respondendo a estes possíveis questionamentos, verifica-se que para esclarecer o *primeiro item*, o resultado obtido das UM's é importante para o planejamento amostral e deve inclusive ser levado em consideração na determinação do número de parcelas de inventário florestal contínuos (PIFC's) para a obtenção de representatividade ótima do ponto de vista geoestatístico e econômico, uma vez que a dinâmica de vida dos povoamentos florestais deve ser acompanhada por meio de técnicas de amostragens que sejam eficientes na representação do estado atual e temporal da mesma, para gerar informações precisas e com menor custo possível a fim de subsidiar as ações de manejo e planejamento florestal.

Como as análises geoestatísticas revelaram dependência espacial, propõe-se, a princípio, considerar para levantamentos dendrométricos de PIFC's, em futuras amostragens, distâncias com valores máximos de 3.600 m, ou seja, o valor de alcance médio indica que para a área de estudo, a locação de parcelas de inventário florestal poderia se dar com distâncias dos raios até este valor definido. Sendo assim, os levantamentos dos dados dendrométricos de uma floresta podem ser facilitados por estas ferramentas geoestatísticas e, até mesmo, contribuir para um menor custo na coleta das informações dos inventários florestais contínuos ou de pré-cortes em vista de se poder distanciar mais uma parcela da outra, respeitando o valor máximo estipulado para o presente caso de estudo.

Por outro lado, procurando esclarecer o *segundo item*, verifica-se que apesar do grande desenvolvimento da silvicultura brasileira nos últimos anos, a definição de unidades de manejo via avaliação de terras é ainda muito deficiente. As razões são basicamente oriundas da falta de informações precisas sobre o meio físico e outras vezes pela não análise integrada dos dados. Com relação ao meio físico é de grande importância para o manejo e planejamento florestal estimar e inventariar a capacidade produtiva das UM's, razão pela qual é recomendável a existência de métodos alternativos para classificá-las e mapeá-las.

Dentre as metodologias utilizadas para classificar a qualidade do sítio e ou as Unidades de Manejo, a “Curva de Índice de Sítio” se apresenta como a mais difundida em todo mundo, podendo ser considerada como um método primário (CARMEAN, 1975; SCHÖNAU, 1987; SCOLFORO, 1997). Entretanto, esse método, assim como os demais que se baseiam unicamente na vegetação, não são totalmente adequados para determinação da qualidade de sítio satisfatoriamente, uma vez que não utilizam atributos do ambiente, que em última instância, fornecem as condições vitais para o crescimento das árvores (GONÇALVES, 1988).

Neste particular, o levantamento detalhado de solos fornece subsídios para a integração pedólogo-silvicultor, numa busca orientada, no sentido de delimitar e aplicar novos atributos que relacionem adequadamente as unidades de manejo

mapeadas com o crescimento da floresta, dando uma nova conotação taxonômica e técnica ao levantamento de solo e sua interpretação.

Portanto, a prática de uma silvicultura moderna requer um adequado conhecimento do meio físico e um tratamento adequado do solo, bem como da melhoria de suas características limitantes, o que implica na melhor utilização de cada “UM” de acordo com a sua capacidade de sustentação e produtividade econômica. Genericamente, o manejo florestal trata do estudo, do desenvolvimento e da aplicação de técnicas de condução de plantios florestais, visando à qualidade e à produtividade de madeira com características desejáveis pelos clientes. Assim, a definição de práticas de manejo florestal deve levar em consideração os aspectos que interferem na manutenção e na melhoria da capacidade produtiva dos solos, bem como na maximização da rentabilidade da atividade.

Dentro deste contexto, outra questão se faz necessária: “Como elevar a produtividade das UM’s menos produtivas, com valores de Índices de Sítios (IS₁₅) médios inferiores a 15,8 m para níveis semelhantes as UM’s mais produtivas, com IS₁₅ médios superiores a 18,8 m?”

Para repondê-la, procuraram-se compreender as 05 variáveis do meio físico que mais contribuíram para as diferenciações entre as UM’s, e que foram definidas pela análise de regressão linear múltipla (Equação 4.1– p. 96), como as principais e mais promissoras na explicação da variância total entre as “unidades de manejo” e ou “classes de produtividades”. Convém salientar que é mínima a variância, entre as características do meio físico, dentro de cada unidade de manejo.

Dessa forma, a Tabela 24 apresenta as quatro unidades de manejos para o *P. taeda* definidas com seus respectivos dados médios de Índices de Sítio, para a idade de 15 anos (IS₁₅), e do meio físico, onde se pode comprovar a tendência dos valores médios para cada característica definida pela análise de componentes principais e de fatores (CP1 à CP3), a fim de se verificar os possíveis fatores limitantes associados às diferentes capacidades produtivas (UM’s).

Com base nesta Tabela 24, o presente estudo revelou que os solos das parcelas menos produtivas, em termos de Índice de Sítio aos 15 anos de idade,

TABELA 24 - DADOS MÉDIOS, POR UNIDADES DE MANEJO, DOS PARÂMETROS DO MEIO FÍSICO UTILIZADOS COMO VARIÁVEIS EXPLICATIVAS NA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA, PARA A ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE SÍTIO (IS₁₅) PARA *P. taeda*, NA ÁREA PILOTO Nº 1 DA MOBASA

UM's*	IS ₁₅	CC1	CC2	HAL1	DENSID1	MO1
1	18,9	0,406	0,407	20,5	0,846	37,0
2	17,3	0,439	0,417	29,7	0,767	49,0
3	16,3	0,478	0,446	33,0	0,800	51,9
4	14,2	0,508	0,442	28,4	0,952	57,4

* UM's = Unidades de Manejo: 1 (mais produtiva)...4 (menos produtiva); IS₁₅ = Índice de Sítio Médio para *P. taeda* aos 15 anos de idade; C.C. = umidade na capacidade de campo (tensão à 10 KPa): 1 = camada superficial e 2: camada subsuperficial; HAL = hidrogênio + alumínio (cmol_c dm⁻³); DENSID1 = Densidade do Solo (Mg dm⁻³) da camada superficial (DENSID1); MO1 = matéria orgânica (g dm⁻³) da camada superficial; ARG = percentual de argila do solo da camada superficial.

foram àqueles que apresentaram os maiores conteúdos de matéria orgânica na camada superficial (0 – 20 cm) com percentuais variando da ordem de 37,0 (para a UM₁) a 57,4 g dm⁻³ (para a UM₄), ou seja, são os solos com menores teores de matéria orgânica na camada superficial os que mais se sobressaíram em termos de potencial produtivo para o *P. taeda*.

Devido à alta correlação entre os teores de matéria orgânica com o volume de água retido no solo (vide Fig. 8), obtiveram-se altos teores de umidade nas tensões de capacidade de campo, tanto das camadas superficiais quanto subsuperficiais, indicando ainda, que esta característica é a verdadeira causa de explicação das produtividades diferenciadas do *P.taeda* na área de estudo. Assim, em se aumentando os volumes retidos de água na tensão de capacidade de campo dos solos, diminuem-se as capacidades produtivas da espécie em estudo.

Nesse contexto, para a microrregião de estudo, este resultado leva à conclusão de que se a empresa florestal se interessasse pela compra ou arrendamento de terras, esta deveria priorizar as fazendas com horizontes superficiais “Ap” menos espessos e com menores teores de matéria orgânica, os quais certamente tenderiam a serem mais produtivos para o *P. taeda*.

No entanto, é importante salientar que foram coletadas poucas amostras para a presente análise geoestatística. Sempre é bom lembrar que seriam necessárias maiores quantidades de coletas de amostras para se chegar a conclusões mais sólidas. O que importa no momento, a partir dos resultados obtidos, seria definir ações para as empresas florestais, no sentido delas tomarem decisões estratégicas para o aumento de produtividade da espécie de interesse.

Quanto à densidade do solo, não se verifica nenhuma tendência entre os valores médios por unidade de manejo definida neste trabalho. Por outro lado, quanto à questão das características químicas do solo, condicionou-se à idéia de que plantações de pinus dispensariam adubações. Segundo Reismann (2002), de acordo com a fertilidade do solo numa mesma região, é possível obter diferenças no crescimento das árvores.

Como qualquer outra espécie florestal, mesmo sendo pouco exigente em nutrientes, os pinus têm necessidades nutricionais bem definidas, e que poderá apresentar, mais cedo ou mais tarde, deficiências em relação a alguns macro ou micro-elementos essenciais, que devem, conseqüentemente, serem adicionados sob a forma de adubos (POGGIANI, 1980). Além disso, as espécies de rápido crescimento como o *P. taeda*, absorvem com maior intensidade os nutrientes do solo e, na verdade, quando grandes quantidades de fitomassa são retiradas da floresta, por ocasião dos cortes ou dos desbastes, o "site" fica empobrecido de uma apreciável quantidade de nutrientes (POGGIANI, 1980).

Atualmente, vários trabalhos vêm apontando para a necessidade de adubações para o *P. taeda* nas condições brasileiras (REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000 e 2001; GOMES, COUTO e MORO, 2004; BELLOTE, 2005). Diversos autores têm recomendado que a oferta de nutrientes pelo solo seja analisada pela quantidade de nutrientes absorvidos pelas plantas; e as folhas têm sido as partes preferidas para este tipo de análise. Alguns trabalhos apresentam teores médios, teores máximos e mínimos, faixas de suprimento adequado, níveis críticos aproximados, relações entre nutrientes para *P. elliottii* e *P. taeda* (LA

TORRACA, 1984; MENEGOL, 1991; LASO GARICOITS, 1990; REISSMANN e WISNIEWSKI, 2000).

No presente estudo, verifica-se que há uma tendência de haver maior acidez potencial ($H + Al^{3+}$) para as UM's menos produtivas. Para tentar diminuir esta acidez potencial, poderia se fazer calagens, nestas unidades de manejo menos produtivas, no sentido de se igualar às UM's mais produtivas, pois é sabido que o calcário aumenta o pH do solo e os teores de $Ca^{2+} + Mg^{2+}$, diminuindo por conseguinte sua acidez potencial.

Zani Filho (Informação pessoal, 2007) em experimento com pinus tropical em área de cerrado, sobre Latossolo Vermelho Distrófico típico, A moderado, textura muito argilosa e, após uma cultura anterior de *Eucalyptus sp.*, com 2 a 3 rotações, encontrou respostas significativas para aplicações de 2 ton ha^{-1} de calcário dolomítico + 85 g/planta de NPK (06-30-06) na dosagem de 8,5 kg ha^{-1} de N + 162,5 kg ha^{-1} de P_2O_5 + 8,5 kg ha^{-1} de K_2O + 20 g/planta de FTE BR12 (micronutrientes), quando comparado com a testemunha.

Dentro deste contexto, para uma melhor indicação de quantidades de adubos e corretivos, devem-se fazer experimentos de campo com a espécie em estudo, no sentido de se tentar aumentar e ou melhorar a produtividade do *P. taeda* nas unidades menos e mais produtivas, respectivamente, considerando as variáveis de maior importância detectada para a região do presente estudo.

5 CONCLUSÕES

- ✓ O presente estudo demonstra, pela análise multivariada de agrupamento que, a despeito de existirem classes diferentes de solos, as diferenças de índices de sítios para o *P. taeda*, nesta região de estudo, não são explicadas somente pela definição das classes até o quarto nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos e que, portanto, são necessários avanços nos 5º e 6º níveis categóricos deste Sistema, para melhor atender aos anseios do segmento florestal.
- ✓ As áreas de maior potencial produtivo quanto aos índices de sítio estão relacionadas principalmente com os atributos físico-hídricos dos solos.
- ✓ A equação 4.1 da p.96, definida pela análise de regressão por componentes principais para a área piloto nº1, permite estimar com precisão de 93,97 % o incremento médio anual volumétrico das árvores de *P. taeda*, em função de treze variáveis independentes.
- ✓ A integração de geoprocessamento com técnicas geoestatísticas, através da Co-krigagem Ordinária Multivariada, permite definir com boa precisão Unidades de Manejo para o *P. taeda*.
- ✓ A espacialização de valores preditos dos índices de sítio para o *P. taeda*, através da relação deste índice com os três primeiros componentes principais, pelo método da Co-krigagem Multivariada via modelo exponencial, resulta em estimativas médias adequadas com explicação de 72,2% da variância total.
- ✓ O alcance espacial médio de 3.600 m para a definição de classes de índices de sítio, revelam que para distâncias superiores a este valor, os

dados devem ser tratados como independentes. Este resultado sugere que as parcelas de inventário florestal para serem tratadas de forma dependentes espacialmente, podem ser distanciadas umas das outras até esta distância definida.

REFERÊNCIAS

ACERBI Jr., F. W.; SCOLFARO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de.; MAESTRI, R. Modelo para prognose do crescimento e da produção e análise econômica de regimes de manejo para *P. taeda* L. Viçosa, **Revista Árvore**, v.26, n.3, 2002.

AGÊNCIA O GLOBO. Impactos sobre a biodiversidade. [online] Disponível na internet via URL: <http://www.mma.gov.br>. Brasília, 2006.

AGRITEMPO. “Agritempo [on line]”. Disponível em: <http://www.agritempo.gov.br>. Último acesso: 23/01/2006.

AHRENS, S.; HOLBERT, D. Uma função para forma de tronco e volume de *Pinus taeda* L. Curitiba: EMBRAPA. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n.3, p.37-68, 1981.

ARES, A. Application of multivariate analysis to site quality evaluation for coniferous plantations. **South African Forestry Journal**, n.167, p.27-33, 1993.

ARES, A; MARLATS, R. M. Site factors related to growth of coniferous plantations in a temperate, hilly zone of Argentina. **Australian Forestry**, v.60, n.3, p.118-127, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. **Estatísticas**. 2005. Disponível em: <www.abraflor.org.br>. Acesso em: 24 julho 2006.

ATKINSON, G. A multivariate analysis of alluvial terrace soils of the Clarendon and Cranebrook formations, Nepean River, N.S.W. **Austr. J. Soil Res.**, n.22, p.243-259, 1988.

BAKER, J. B.; LANGDON, O. G. *P. taeda* L. - **Loblolly pine**. In: BURNS, R.M.; HONKALA, B.H. (Eds.). *Silvics of North America*. Washington: USDA **Forest Service**. v.1. p.497-512, 1990.

BARBOSA, C.C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. São José dos Campos: INPE, 1997, 152p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto).

BARRA, O. S. V. **Productividad Y relaciones del índice de sitio con variables fisiográficas, edafoclimáticas y foliares para *Tectona grandis* L. F., *Bombacopsis quinatum* (jacq.) Dungand Y *Gmelina arborea* Roxb. en Costa Rica**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Conservação) - Centro Agrônomico Tropical de Investigación Y Enseñanza, Turrialba, 1996. 147p.

BARROSO, L. P.; ARTES, R. Análise multivariada. In: 10º SIMPÓSIO DE ESTATÍSTICA APLICADA À EXPERIMENTAÇÃO / 48ª REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 2003. Lavras, **Anais...** Lavras: URL. 151p.

BELLOTE, A. F. J. **Influência dos nutrientes minerais e dos atributos do solo sobre a produtividade, a estrutura anatômica e a densidade da madeira produzida pelo *P. taeda***. Piracicaba, USP, 2005. 96p. (Relatório Final de Pós-Doutorado em Engenharia Florestal).

BIONDI, F.; MYERS, D.E.; AVERY, C.C. Geostatistically modeling stem size and increment in an old-growth forest. **Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne de Recherche Forestiere**, v.24, n.7, p.1354-1368, 1994.

BOGNOLA, I.A.; SOARES, E.; RUIZ, H.A. Retenção de água em areias quartzosas de diferentes formas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., GOIÂNIA. **Anais...**, 1993, Goiânia. SBCS. Astro Gráfica e Editora Ltda, 1993. v.1. p.117-118.

BOLFE, E.L.; GOMES, J.B.V. Geoestatística como subsídio à implantação de agricultura de precisão. [on line]. Disponível em <http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=210>. Consultado em 23/01/2007.

BÖNISCH, S. ; Assad, L. ; CÂMARA, G. ; MONTEIRO, A. M. V. . Representação e Propagação de Incertezas em dados de Solos: II - Atributos Numéricos. **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 28, p. 33-47, 2004.

BÖNISCH, S. ; CÂMARA, G. ; MONTEIRO, A. M. V. . Análise espacial para a Integração de Propriedades Pedológicas e Climáticas. **Rev. Bras. de Cartografia**, Curitiba, v. 52, p. 37-47, 2000.

BOX, G.E.P; COX, D.R. An analysis of transformations (with Discussion). **Journal of the Royal Statistical Society, Series B**. v.26, p. 211-252. 1964.

BUFORD, M. A; MCKEE, W. H. Relating site index of natural Loblolly Pine on the Lower Coastal Plain to some environmental factors. In: BIENNIAL SOUTHERN SILVICULTURAL RESEARCH CONFERENCE, 6., Memphis, Tennessee, 1988. **Proceedings ...** Memphis, Tennessee, 1988. v.1, p.495-498.

BURROUGH, P. A.; BOUMA, J.; YATES, S. R. The state of the art in pedometrics. **Geoderma**, Amsterdam, v.62, n.1/3, p.311-326, 1994.

CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil Sci. Soc. of Am. J.**, Madison, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CARGNIN, O. **Alternativas das florestas de pinus**. [on line]. 2005. Disponível em <http://www.valeverde.org.br/html/clipp2.php?id=3752&categoria=Biodiversidade> ≥ Consultado em 15/08/06.

CARMEAN, W. H. Soil survey refinements for predicting black oak site quality in Southeastern Ohio. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.**, n.31, p.805-10, 1967.

CARMEAN, H.W. Forest site quality valuation in the United States. **Advances in agronomy**, v.27, p.209-69, 1975.

CARMO, D. N.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R. F. (eds.). Relação Solo-Eucalipto. Viçosa, **Folha de Viçosa**, p.187-235, 1990.

CARR, J.D.; MEYERS, D.E.; GLASS C. H. Cokriging. A computer program: **Computers & Geosciences**, n.11, p.11-127, 1985.

CARVALHO, A.P.; MENEGOL, O.; OLIVEIRA, E.B.; MACHADO, S.A.; POTTER, R.O.; FASOLO, P.J.; FERREIRA, C.A.; BARTOSZECK, A.C.P.S. Efeito de características do solo sobre a capacidade produtiva de *Pinus taeda*. **Bol. Pes. Fl.** Colombo, n. 39, p. 51-66, 1999.

CARVALHO, J. R .P. de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S.R. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 8, p. 1151-1159, ago. 2002.

CARVALHO, J.R.P. de; ASSAD, E.D. **Comparação de interpoladores espaciais univariados para precipitação pluvial anual no estado de São Paulo**. MAPA, 2002. Comunicado Técnico, 33, 6p.

CARVALHO, J.R.P.de; ASSAD, E.D. Análise espacial da precipitação pluviométrica no estado de São Paulo: comparação de métodos de interpolação. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.25, n.2, p.377-384. 2005.

CASTRIGNANÒ, A.; GIUGLIARINI, L.; RISALITI, R.; MARTINELLI, N. Study of spatial relationships among some soil phyco-chemical properties of a field in central Italy using multivariate geostatistics. **Geoderma**, v.97, p.39-60, 2000.

CASTRO, C.F. de A. **Distribuição da fitomassa acima do solo e nutrientes em talhões de *P. oocarpa* Schiede plantados no estado de São Paulo**. Piracicaba, 1984. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Ciências Florestais. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. *Ci. Rural*, n.25, p.183-188, 1995.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA - CEPEA-ESALQ/USP. Estatísticas. 2006. Disponível em: <<http://www.cepea.esalq.usp.br/florestal/>>. Consultado em 18/10/2006.

CLUTTER, J. L.; FORTSON, J. C.; PIENAR, L. V.; BRISTER, G. H.; BAILEY R. L. **Timber management: a quantitative approach**. New York, John Willey e Sons, 1983. 333 p.

COHEN, W.B.; SPIES, T.A.; BRADSHAW, G.A. Semivariograms of digital imagery for analysis of conifer canopy structure. **Remote Sensing of Environment**, v.34, n.3, p.167-178, 1990.

COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Effects of water stress on photosynthesis, respiration and growth of Faba Bean (*Vicia faba* L.) growing under field conditions. **R. Bras. Agrometeor.**, n.5, p.5-9, 1997.

CORÁ, C. A. G. **Distribuição de pesos e influência das variáveis na cokrigagem**. Campinas, 1996, 132p. Campinas: UNICAMP, Instituto de Geociências. (Dissertação de mestrado).

COUTO, E.G.; KLAMT, E. Variabilidade espacial de micronutrientes em solo sob pivô central no sul do Estado de Mato Grosso. **Pesq. agropec. bras.** v.34, n.12. Brasília, 1999.

COUTO, L.; BETTERS, D. R. **Short-rotation eucalypt plantations in Brazil: social and environment issues**. Oak Ridge, Oak Ridge National Laboratories, 1995. 34p.

CRESSIE, N. Fitting variogram models by weighted least squares. **Mathematical Geology**, n.17, p.563-586, 1985.

CRESSIE, N. **Statistics for spatial data** (revised edition). John Wiley & Sons. New York. 1993.

CRUZ, C. D. **Algumas técnicas de análise multivariada aplicada no melhoramento de plantas**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1990. 188p. (Tese D.S.) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1990.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO; P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3ed. Viçosa, UFV, 2004. 480p.

CURI, N.; LARACH, J.O.I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A.C.; FONTES, L.E.F. **Vocabulário de ciência do solo**. Campinas: Sociedades Brasileira de Ciência do Solo, 1993.

DAVIS, K.P. **Forest managment, regulation and valuation**. USA : Mc Graw Hill, 1966. 519p.

DEUTSCH, C.V.; JOURNAL, A.G. **GSLIB - Geostatistical Software Library and User's Guide**. Oxford University Press, 1992.

DIGGLE, P. J. ; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. . Bayesian Inference in Gaussian model based geostatistics. **Geographical And Environmental Modelling**, v. 6, n. 2, p. 129-146, 2002.

DIGGLE, P. J. ; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. ; CHRISTENSEN, O. F. . **An introduction to model based geostatistics**. In: **Jesper Möller. (Org.). Spatial statistics and computational methods**. : Springer Verlag, 2003, v. 173, p. 43-46.

DIGGLE, P.J.; RIBEIRO JÚNIOR, P.J. **Model-based geostatistics**. New York: Springer, 2007. 228p.

DNPM. Departamento Nacional de Produção Mineral. **Atlas Geo**. Descrições geomorfológicas do Estado de Santa Catarina, 1986.

DUNNING, X.; RUST., R.H.; CRUM, J.R. Numerical classification of forested soils in the high-mountain region of Southwestern China. **Soil Sci.**, n.141, p.127-137, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de Métodos de Análises de solos**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1999. 412p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: EMBRAPA-SPI; Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 2006. 2ª ed.rev. 306p.

EPAGRI. Centro Integrado de Meteorologia e Recursos Hídricos de Santa Catarina - CLIMERH. "EPAGRI [On line]. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.epagri.com.br>. Arquivo capturado em 23 de janeiro de 2006.

FAO. **FAC Forestry statistics today for tomorrow**. Roma, FAO, 2006. [online] Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.fao.org/forestry/foris/webview/orestry2>. Arquivo capturado em 15 de agosto de 2006.

FERREIRA, C.A. **Nutritional aspects of the management of *Eucalyptus* plantations on poor sandy soils of the Brazilian cerrado region**. D.Phil, Thesis. Green College, Michaelmas Term, University of Oxford. 193p. 1989.

FIORIN, J.E.; REINERT, D.J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo para realização de balanço hídrico. **R. Bras. Ci. Solo**, n.17, p.9-15, 1993.

FIORIN, J.E.; REINERT, D.J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. **R. Bras. Ci. Solo**, n.21, p.149-255, 1997.

FROMM, H.; WINTER, K.; FILSER, J.; HANTSCH, R.; BEESE, F. The influence of soil type and cultivation system on the spatial distribution of the soil fauna and microorganisms and their interactions. **Geoderma**, v.60, p.109-118, 1993.

GAMA-RODRIGUES, E.F.; BARROS, N.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v.29, n.6. **Vinosa, 2005**

GERDING, V; SCHLATTER, J. E. Variables Y factores del sitio de importancia para la productividad de *Pinus radiata* D.Don en Chile. **Bosque**, v.16, n.2, p.39-56, 1995.

GOMES, F.; COUTO, L.; MORO, F. **Management systems based on the soil productive capacity for eucalypt and pine plantations in the South of Brazil**. Arapoti-PR: INPACEL (Palestra apresentada no Seminário de Produtividade da UFPR, em Curitiba em outubro de 2004).

GONÇALVES, J. L. M. Interpretação de levantamento de solo para fins silviculturais. **IPEF**, n. 39, p. 65-72, 1988.

GONÇALVES, J. L. M. **Interações genótipo ambiente e relações entre a produtividade de sítios florestais de *E. grandis* e *E. saligna* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo**. Piracicaba, ESALQ/USP, 1989. 135 p. (Tese D.S.).

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**, v.15, p.1-23, 1995.

GONÇALVES, B. S. **O Compromisso das Empresas com o Meio Ambiente – Agenda Ambiental das Empresas e a Sustentabilidade da Economia Florestal**. São Paulo: Instituto Ethos, 2005. 48p.

GONÇALVES, J. L. M.; DEMATTÊ, J. L. I.; COUTO, H. T. Z. Relações entre a produtividade de sítios florestais de *P. taeda* e *Pinus elliottii* com as propriedades de alguns solos de textura arenosa e média no Estado de São Paulo. **Boletim Técnico IPEF**, n. 43/44, p. 24-39, 1990.

GOOVAERTS, P. Geostatistics in soil science: state of the art and perspectives. **Geoderma**, v.89, p.1-45, 1999.

GREGO, C. R. ; VIEIRA, S. R. . Variabilidade espacial de características físicas do solo avaliadas em uma parcela experimental. **Rev. Bras. Ci. Solo**, Viçosa-MG, v. 29, n. 2, p. 169-177, 2005.

GREGO, C. R. ; VIEIRA, S. R. ; ANTONIO, A. M. ; Della Rosa, S.C. . Geostatistical analysis for soil moisture content under no tillage cropping system. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 341-350, 2006.

GULDIN, J. M.; BAKER, J. B; LOCKHART, B. R. Evaluation of four soil-site index estimators for Loblolly Pine in The West Gulf Region. In: BIENNIAL SOUTHERN SILVICULTURAL RESEARCH CONFERENCE, 6., Memphis, Tennessee, 1988. **Proceedings...** Memphis, Tennessee, 1988. v.1, p.489-493.

GUNNARSON, F.; HOLM, P.H.; THURESONN, T. On the potential of krigagem for forest management planning. **Scandinavian Journal of Forest Research**, v.13, n.2, p.237-245,1998.

HAAG, H.P. **Nutrição mineral de *Eucalyptus*, *Pinus*, *Araucaria* e *Gmelina* no Brasil**. Campinas: Fundação Cargill, 1983, 101 p.

HAINSWORTH, J.M.; AYLMOORE, L.A.G. Water extraction by single plant roots. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n.50, p.841-848, 1986.

HAINSWORTH, J.M.; AYLMOORE, L.A.G. Non-uniform soil water extraction by plant roots. **Plant Soil**, n.113, p.121-124, 1989.

HAIR, J. F. Jr.; ANDERSON, R. E; TATHAM, R. L; BLACK, W. C. **Multivariate data analysis**. 5th ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1998.

HAMBLIN A.; RICHARDS, Q.; BLAKE, J. Crop growth across a topossequence controlled by depth of sand over clay. **Austr. J. Soil Res.**, n.26, p.623-35, 1988.

HIGUCHI, N. Amostragem sistemática versus amostragem aleatória em floresta tropical úmida de terra firme na região de Manaus. **Acta Amazônica**, v.16/17, p.393-400, 1986/1987.

HILL, R.L.; HORTON, R.; CRUSE, R.M. Tillage effects on soil water retention and pore size distribution of two Mollisols. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, n.49, p.1264-1270, 1985.

HINZ, P. N. A method of cluster analysis and some applications. In: EK, A.R.; BALSINGER, J.W.; PROMNITZ, L.C. (ed). **Forest modeling and inventory**. **Madison**, University of Wisconsin, Society of American Foresters, 1975.

HÖCK, B.K.; PAYN, T.W.; SHIRLEY, J. Using a geographic information system and geostatistics to estimate site index of *Pinus radiata* for Kaingaroa forest. **New Zealand Journal of Forestry Science**, v.23, p.264-277, 1998.

HULUGALLE, N.R.; WILLATT, S.T. The role of soil resistance in determining water uptake by plant root systems. **Aust. J. Soil Res.**, n. 21, p.571-574, 1983.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. [On line]. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.inmet.gov.br>. (Arquivo capturado em 23 de janeiro de 2006).

INPACEL. Inpacel Agroflorestal Ltda. Plano de Manejo [On line]. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.internationalpaper.com.br/downloads/premios/resumo.pdf> (Arquivo capturado em 04 de julho de 2007).

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS – IG. **Geoestatísticas**. UNICAMP: Barão Geraldo - SP. [on line]. Disponível em <<http://www.igc.usp.br/subsites/geoestatistica/index.html>>. Consultado em 16/10/2006.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, Inc., 1989. 560p.

JAKOB, A. A. E. **Kriging demographic variables in order to look for trends in the spatial distribution of population. Trabalho final do curso Spatial Modeling and Analysis – CSS 620**, Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University, Ithaca, NY, 2002.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis**. 4th edition. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1998. 816p.

JONG VAN LIER, Q. de. Índices da disponibilidade de água para as plantas. In: NOVAES, R.S.; ALVAREZ V, V.H.; SCHAESER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. cap.3, p.95-106.

JONG VAN LIER, Q. de.; LIBARDI, P.L. Extraction of soil water by plants: development and validation of a model. **R. Bras. Ci. Solo**, n.21, p.535-542, 1997.

JOURNAL, A.G.; HUIJBREGTS, C.J. **Mining geostatistics** . London: Academic Press, 1978. 600p.

KACHIGAN, S. K. **Multivariate statistical analysis**. New York: John Wiley e Sons, 1988.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. **Psychometrika**, v.23, p. 187-200, 1958.

KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis, a practical approach**. London, Belhaven Press, 1992. 363p.

KLOOSTERMAN, B.; LAVKULICH, L.M. A method of statistically interpreting soil data for agricultural and engineering land use. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, n.37, p.285-291, 1973.

KORNING, J.; THOMSEN, K.; OLLGAARD, B. Composition and structure of a species rich Amazonian rain forest obtained by two different sample methods. **Nordic Journal of Botany**, v.11, n.1, p.103-110, 1991.

KRIGE, D.G. Two-dimensional weighted moving average trend surfaces for ore-evaluation. **Journal of the African Institute of Mining and Metallurgy**. v.66, p.13-38, 1966.

KRONKA, F. J. N.; BERTOLANI, F.; PONCE, R. H. [on line]. Disponível em **A cultura do Pinus no Brasil**. São Paulo: Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2005.

LA TORRACA, S. M. Recrutamento e exportação de nutrientes por *Pinus elliottii* var. *elliottii* em latossolo vermelho escuro, na região de Agudos, SP. **IPEF**, Piracicaba, n. 27, p. 41-47, 1984.

LADEIRA, H. **Quatro décadas de Engenharia Florestal no Brasil**. Viçosa: Sociedade de Investigações Florestais, 2002. 207p.

LASO GARICOITS, L.S. **Estado nutricional e fatores do solo limitantes do crescimento do *P. taeda* L. em Telêmaco Borba – PR**. Curitiba, 1990. 128 f. Dissertação (Mestrado) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

LAVORANTI, O.J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem “Bootstrap” no modelo AMMI**. Piracicaba, 2003. 166 f. Tese (Doutorado em Estatística) – Departamento de Estatística, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

LAVORANTI, O.J. **Análise de Regressão Linear Múltipla**. Curitiba, 2005. 41f. Apostila da Disciplina CE-216 do Curso de Pós-graduação - Setor de Ciências Exatas – Departamento de Estatística, Universidade Federal do Paraná (UFPR).

LEA, R.; BALLARD, R. Predicting loblolly pine growth response from N fertilizer, using soil-N availability indices. **Soil Science Society of America Journal**, v. 46, n.6, p. 1096-1099. 1982.

LEPSCH, I. F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LI, C.C. **Path analysis - a primer**. Pacific Grone. The Boxwood Press, 1975. 346p.

LITTLE, I.P.; SMITH, K.J. An investigation of the base status of soils from the Lockyer Valley Uplands, and some implications for land use. **Austr. J. Soil Res.**, n.24, p.331-341, 1986.

LUCHESA, C. J. **Estudo da adequação dos índices da análise econômico-financeira às empresas florestais, utilizando métodos estatísticos multivariados**. Curitiba, 2004, 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MACHADO, S.A. **Studies in growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. plantations in the State of Paraná**. Seattle: University of Washington, 1978. 170 p. Tese (Doutorado) - University of Washington, 1978.

MACHADO, S. A. **Curvas de índice de sítio para plantações de *P. taeda* na região central do Estado do Paraná.** 1981.

MACHADO, S. A. Complete enumeration forest inventory versus Cluster sampling methods applied in the Amazonian Rain forest. **Revista Floresta**, v.18, n.1/2, p.122-130, 1988.

MANFREDINI, S.; PADOVESE, P.P.; OLIVEIRA, J.B. Efeito da composição granulométrica da fração areia no comportamento hídrico de latossolos de textura média e areias quartzosas. **R. Bras. Ci. Solo**, n.8, p.13-16, 1984.

MANZIONE, R.L. **Variabilidade espacial de atributos químicos do solo em Araguari-MG.** Botucatu: UNESP, 2002. 155p.

MARCOTTE, D. Cokriging with Matlab. **Computers & Geosciences**, n.17, p.1265-1280, 1991.

MATÉRN, B. **Spatial variation.** Berlin: Springer, 1ed., 1960.

MATHERON, G. **Traité de géostatistique appliquée.** Paris, Bureau de Rech. Geol. Minieres. (Mémoires 14). 333p. 1962

MATHERON, G. 1971. **The theory of regionalized variables and its applications.** Fontainebleau, École Nationale Supérieure des Mines de Paris. 211p. (Les Cahiers de Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, 5). 1971.

McBRATNEY, A.G.; WEBSTER, A.G. Choosing functions for semi-variograms and fitting them to sampling estimates. **J. of Soil Sci.**, v.37, p.617-639, 1986.

MELLO, J.M. de. **Geoestatística aplicada ao inventário florestal.** Piracicaba, 2004. 122p. Dissertação (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo (ESALQ-USP).

MELLO, J.M.; SCOLFORO, J.R.S. Análise comparativa de procedimentos de amostragem em um remanescente de floresta estacional semidecídua montana. **Revista Árvore**, v.24, n.1, p.55-62, 2000.

MELLO, J. M. ; BATISTA, J. L. F. ; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. ; OLIVEIRA, M. S. . Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, IPEF, Piracicaba, SP, v. 69, p. 25-37, 2005.

MELLO, J. M. ; OLIVEIRA, M. S. ; BATISTA, J. L. F. ; RIBEIRO JÚNIOR, P. J. ; KANEGAE JUNIOR, H. . Uso do estimador geoestatístico para predição volumétrica por talhão. **Floresta** (UFPR), v. 36, p. 251-260, 2006.

MENEGOL, O. **Índice de sítio e relação entre altura e teores nutricionais das acículas em povoamentos de *Pinus elliottii* var. *elliottii* no segundo planalto paranaense**. 1991. 74 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MEYER, A. H et al. **Forest management**. New York: Ronald Press, 1961. 277p.

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 297p.: il.

MOGLEN, G.E.; BRAS, R.L. The importance of spatially heterogeneous erosivity and the cumulative area distribution within a basin evolution model. **Geomorphology**, Amsterdam, v.12, p.173-185, 1995.

MORRIS, L. A.; LUDOVICI, K. H.; TORREANO, S. J.; CARTER, E. A.; MUELLER, R. O. **Basic principles of structural equation modelling**. New York: Springer Verlag, 1996.

NANNI, M. R. ; DEMATTÊ, José Alexandre Mello ; FIORIO, Peterson Ricardo. Análise discriminante dos solos por meio da resposta espectral no nível terrestre. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 10, p. 995-1006, 2004.

NANNI, M.R. **Delimitação de unidades fisiográficas para estudo de solos utilizando análise multivariada e técnicas de sensoriamento remoto**. Curitiba: UFPR, 1995. (Tese Mestrado em Ciência do Solo).

OLARIETA, J. R.; BESGA, G.; RODRIGUES-OCHOA,R.; AIZPURUA, A.; USÓN, A. Land evaluation for forestry: a study of the land requirements for growing *Pinus radiata* D. Don in the Basque Country, northern Spain. **Soil Use and Management**, London, v.22, n.3, p. 238-244. 2006.

OLIVEIRA, E.B. **Um sistema computadorizado para prognose do crescimento e produção do *P. taeda* L., como critérios quantitativos para avaliação técnica e econômica de regimes de manejo**. Curitiba: UFPR, 1995. 134p. (Tese de Doutorado).

OLIVEIRA, M.S. **Planos amostrais para variáveis espaciais utilizando geoestatística**. Campina: UNICAMP, 1991. 100p. Dissertação (Mestrado).

OLIVER, M.A.; WEBSTER, R. The elucidation of soil pattern in the Wyre Forest of the West Midlands, England. I. Multivariate distribution. **J. Soil Sci.**, n.38, p.279-291, 1987.

ORTEGA, A.; MONTEIRO, G. Evaluacion de la calidad de las estaciones forestales. Revision bibliografica. **Ecologia**, v.2, p.155-184, 1988.

PÉLLICO NETTO, S.; BRENA, D. A. **Inventário Florestal**. Curitiba: Os autores, 316p., 1997.

PEÑA, L.C. de la; HUERTA, M.A.H. **Estadística multivariante en las ciencias de la vida – fundamento, métodos y aplicación**. Madrid: Ed. Ciencia, 1993.

POGGIANI, F. **Florestas para fins energéticos e ciclagem de nutrientes**. Piracicaba: IPEF/Série Técnica, v. 1, n. 2, p. D1-D11, 1980.

POGGIANI, F.; SCHUMACHER, M. V. Ciclagem de nutrientes em Florestas Nativas. In: GONÇALVES, J. L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2000. 427 p.

PÖTTER, R.O.; CARVALHO, A.P. de; FLORES, C.A.; BOGNOLA, I.A. **Solos do Estado de Santa Catarina**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS; EMBRAPA-CNPF, 2004. (Série: Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 46).

QUEIROZ, W.T. **O uso da análise multivariada nos levantamentos florestais**. In: II Simpósio sobre Inventário Florestal, 1984, São Paulo. II Simpósio sobre Inventário Florestal. PIRACICABA-SP : Gráfica da ESALQ/USP, 1984. v. Único. p. 103-106.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K.J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3^a.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA – CNPS, 1995. 65p.

RATKOWSKY, D.A.; MARTIN, D. The use of multivariate analysis in identifying relationships among disorder and mineral element content in apples. **Austr. J. Agric. Res.**, n. 25, p. 783-790, 1974.

REISSMANN, C. B. Exigências nutricionais nos plantios de *Pinus*. **Rev. da Madeira**. Ed. Especial: *Pinus*, uma alternativa de mercado. Curitiba, v. 12, n. 68, 2002.

REISSMANN, C. B.; WISNEWSKI, C. Aspectos nutricionais de plantios de pinus. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 135-166.

REISSMANN, C. B.; WISNIEWSKI, C. **Aspectos nutricionais de plantios de Pinus**. Curitiba: UFPR, 2001. [on line]. Disponível em: <http://agrarias.ufpr.br/~mrlima/pesquisas/R001.htm>>. Acesso em: 23 de janeiro de 2006.

RESENDE, M.; LANI, J.L. e REZENDE, S.B. de. Pedossistemas da mata atlântica: considerações pertinentes sobre a sustentabilidade. Viçosa, **Revista Árvore**, v.26, n.3, 2002.

RIBEIRO JÚNIOR, P. J. **Métodos geoestatísticos no estudo da variabilidade espacial de parâmetros do solo**. Piracicaba, 1995. 99p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RIBEIRO JÚNIOR, J. I. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa: UFV, 2001.

RIBEIRO JÚNIOR, P.J.; DIGGLE, P.J. geoR: a package for geostatistical analysis. **RNEWS**, v.1, n.2, p.15-18, 2001.

RICHARDSON, D. M; RUNDEL, P. W. **Ecology and biogeography of pinus: an introduction**. In: RICHARDSON, D. M., ed., Ecology and biogeography of *Pinus*, New York: Cambridge University Press. Cambridge, p.1-48, 1998.

RIGATTO, P. A.; DEDECEK, R. A.; MATTOS, J. L. M. de. Influência dos atributos do solo sobre a produtividade de *P. taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n.5, p. 701-709. 2005.

ROMANI, L.A.S.; EVANGELISTA, S.R.M.; ZULLO JUNIOR, J.; AGUIAR, D.A.; FONSECA, M.F. Geração de mapas agrometeorológicos em tempo real via Internet. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE INFORMÁTICA APLICADA À AGROPECUÁRIA E AGROINDÚSTRIA, 4., 2003, Porto Seguro. **Anais...**Lavras: SBIAgro, 2003. p.1-4. 1 CD-ROM.

ROYSTON, P. Approximating the Shapiro-Wilk W-Test for normality. **Statistics and Computing**, n.2, p.117-119. 1992.

RYAN, P.J. Characterization of soil and productivity of *Pinus radiata* (D. Don) in New South Wales. II. Pedogenesis on a range of parent materials. **Austr. J. Soil Res.**, n.24, p.103-113, 1986.

SAMRA, J.S.; GILL, H.S.; BHATIA, V.K. Spatial stochastic modelling of growth and forest resource evaluation. **Forest Science**, v.35, n.3, p.663-676, 1989.

SANTOS FILHO, A.; SAYAGUES LASO, L.; REISSMAN, C.B.; MACHADO, S.A.A. Desenvolvimento de *Pinus taeda* L. em função das características do solo em Telêmaco Borba – PR. **Revista do Setor de Ciências Agrárias**, v.12 (1-2), p.13-24, 1992/1993.

SAS - STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM: **Programa de computador, ambiente VM**. Cary, 1993. Versão 6.08.

SCHABENBERGER, O.; GOTWAY, A. **Statistical Methods for Spatial Data Analysis**, New York: Chapman-Hall, 2005.

SCHLESINGER, W.H.; RAIKES, J.A.; HARTLEY, A.E.; CROSS, A.F. On the spatial pattern of soil nutrients in desert ecosystems. **Ecology**, v.77, p.364-375, 1996.

SCHÖNAU, A.P.G. Problems in using vegetation on soil classification in determining site quality. **South African forestry journal**, Pretoria (14): 13-8, 1987.

SCOLFARO, J. R. S. **Biometria Florestal – Módulo: Métodos para classificação de sítios florestais**. UFLA/FAEPE/DCF, Lavras, 1997.

SCOLFARO, J. R. S.; MACHADO, S. A. Curvas de índice de sítio para plantações de *Pinus elliottii* no estado do Paraná e Santa Catarina. **Floresta**, Curitiba, v.23, n.1-2, p.140-158, 1988.

SHAPIRO, S.S.; WILK, M.B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, London, v. 53, n. 3/4, p.591-611, 1965.

SHIMIZU, J.Y.; MEDRADO, M. J. S. **Cultivo do Pinus**. [on line]. Disponível em <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/index.htm>>. Consultado em 18/10/2006.

SILVA, M.L.F. da. **Análise de regressão**. Curitiba: UFPR, 2003. (Apostila do curso de especialização em controle estatístico de qualidade, módulo análise de regressão, realizado na UFPR, Curitiba, 2003).

SILVA, H.D. da; BELLOTE, A.F.J.; DEDECEK, R.A.; GOMES, F.S. dos. Adubação mineral e seus efeitos na produção de biomassa em árvores de *Pinus taeda* L. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, n.8. **Anais...** CD ROM. São Paulo, 2003.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS. **O Setor Florestal Brasileiro: Fatos e Números 2003**. São Paulo, p.3, 2003.

SONDHEIM, M.W.; SINGLETON, G.A.; LAVKULICH, L.M. Numerical analysis of a chronosequence, including the development of a chronofunction. **Soil Sci. Soc. Amer. J.**, n.45, p.558-563, 1981.

SOUZA, E.R. **Alterações físico-químicas no deflúvio de três sub-bacias hidrográficas decorrentes da atividade agrícola**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996. 91p. (Tese de Mestrado).

STAPE, J. L. **Florestas plantadas: situação de cultivo, manejo e tendências**. In: WORKSHOP ON THE SUSTAINABILITY OF THE BRAZILIAN PULP e PAPER INDUSTRY. São Paulo: Ministério das Relações Exteriores/BRACELPA, 1997. (Palestra)

STAPE, J.L. **Production ecology of clonal eucalyptus plantation in northeastern Brazil**. 2002. 225f. Tese (Pós Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade do Colorado, Fort Collins, 2002.

STEIN, M. L. **Interpolation of Spatial Data: Some Theory for Kriging**. New York: Springer series in statistics. 1999.

TABACHNICK, B.; FIDELL, L. S. **Using multivariate statistics (3ªed.)**. New York: Harper Collins, 1996.

TARDIEU, F.; BRUCKLER, L.; LAFOLIE, F. Root clumping may affect the root water potential and the resistance to soil-root water transport. **Plant Soil**, n. 140, p.291-301, 1992.

TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. **Ecology**, 67, p.1167-1179, 1986.

TER BRAAK, C.J.F. In: JONGMAN, R.H.G.; TER BRAAK, C.J.F. & Van TONGEREN, O.F.R. (eds.). **Data analysis in community and landscape ecology**. Oxford, University Press, 1987. p.91-173.

THOMPSON, S.K. **Sampling**. New York: Wiley, 1992. 343p.

TINSLEY, H.; BROWN, S. In: TINSLEY, H.E.A.; BROWN, S.D. (eds.). **Handbook of Applied Multivariate Statistics and Mathematical Modeling**. University Press, 2000. 721p.

TOBAR, A. **Qualidade de sitio com referencia especial a la altura mayor**. Esmeraldas, Equador: Universidade Técnica Luis Vargas Torres, 1976 (Revisión bibliográfica).

TONINI, H.; FINGER, C.A.G.; SCHNEIDER, P.R. & SPATHELF, P. Crescimento em altura de *pinus elliottii* engelm., na Região de Piratini no Rio Grande do Sul, Brasil. Santa Maria, **Ciência Rural**, v.31, n.3, 2001.

TRANGMAR, B.B.; YOST, R.S.; UEHARA, G. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. **Advances in Agronomy**, Academic Press, v.38, p.45-94. 1985.

TURVEY, N.D.; RUDRA, A.B.; TURNER, J. Characteristics of soil and productivity of *Pinus radiata* (D.Don) in New South Wales. I. relative importance of soil physical and chemical parameters. **Austr. J. Soil Res.**, n.24, p.95-102, 1986.

UZUMAKI, E. T. **Geoestatística multivariada: Estudo de métodos de predição**. Dissertação (Estatística – Instituto de Matemática, estatística e Ciência da Computação), UNICAMP, 1994. 104p.

Van den BERG, E. **Estudo florístico e fitossociológico de uma floresta ripária em Itutinga, MG, e análise das correlações entre variáveis ambientais e a distribuição das espécies de porte arbóreo-arbustivo**. Lavras, 1995. 73p. (Tese de Mestrado).

VIEIRA, S. R. **Variabilidade espacial de argila, silte e atributos químicos em uma parcela experimental de um latossolo roxo de Campinas (SP)**. Bragantia, Campinas, v.56, n.1, p.1-17, 1997.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAES, R.S.; ALVAREZ V, V.H.; SCHAESER, C.E.G.R. (Ed.). **Tópicos em Ciências do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. cap.1, p.1-54.

VIEIRA, S. R.; HATFIELD, J. L.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. **Geostatistical theory and application to variability of some agronomical properties**. Hilgardia, Berkeley, v.51, n.3, p.1-75, 1983.

VIEIRA, S.; MARIA, I.C. de. Delineamento experimental e análise estatística na pesquisa em conservação do solo. In: CASTRO FILHO, C.C.; MUZILLI, O. (eds.). **Manejo integrado de solos em microbacias hidrográficas**. Londrina: IAPAR/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.257-268.

VIEIRA, S.R.; CARVALHO, J.R.P. de. **Estudo da periodicidade temporal de chuvas em bacia hidrográfica dos Rios Turvo/Grande - uma proposta**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2001. 17 p. (Documentos, 10).

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and meteorological parameters. In: ALVAREZ V.H. **Tópicos em Ciência do Solo II**. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.

VILORIA, J.A. **The inter-relation between soil survey and soil information systems: optimization of data gathering procedures**. Oxford: University of Oxford, 1989. 350p. PhD. Thesis.

VOEGEL, H.L.M. Crescimento de *P. taeda* L. relacionado a doses de N, P e K e sua diagnose nutricional pelo DRIS. Santa Maria – RS, **Ciência Florestal**, v. 13, n. 1, p.182, 2003.

VOEGEL, H.L.M.; SCHUMACHER, M.V.; STORCK, L.; WITSCHORECK, R. Crescimento inicial de *P. taeda* L. relacionado a doses de N, P e K. Santa Maria – RS, **Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p.199-206, 2005.

WACKERNAGEL, H. **Multivariate geostatistics**. Berlin: Springer, 3ed., 2003.

WARD, J. Hierarchical grouping to optimize an objective function. **J. of Amer. Statistical Association**, n.58, p. 236-244, 1963.

WEAVER, H.A. & JAMISON, V.C. Effects of moisture on tractor tire compaction of soil. **Soil Sci.**, v. 71, n.1. p.15-23, 1951.

WEBSTER, R. Quantitative spatial analysis of soil in the field. **Advances in Soil Science**, v. 3, p. 1-70, 1985.

WEBSTER, R.; OLIVER, M.A. **Statistical methods in soil and land resource survey**. Oxford: Oxford University Press, 1990. 316p.

WILLIAMS, J.; PREBBLE, R.E.; WILLIAMS, W.T.; HIGNETT, C.T. The influence of texture, structure and clay mineralogy on the soil moisture characteristic. **Austr. J. Soil Res.**, n.21, p.15-32, 1983.

WULDER, M.; LAVIGNE, M.; FRANKLIN, S. High spatial resolution optical image texture for improved estimation of forest stand leaf area index. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.22, n.4, p.441-449, 1996.

YATES, S.R.; YATES, M.V. **Geostatistics for Waste Management**. A User's Manual for the GEOPAK (Version 1.0): Geostatistical Software System: U.S. Environmental Protection Agency, Report n. EPA/600/8-9, 1990.

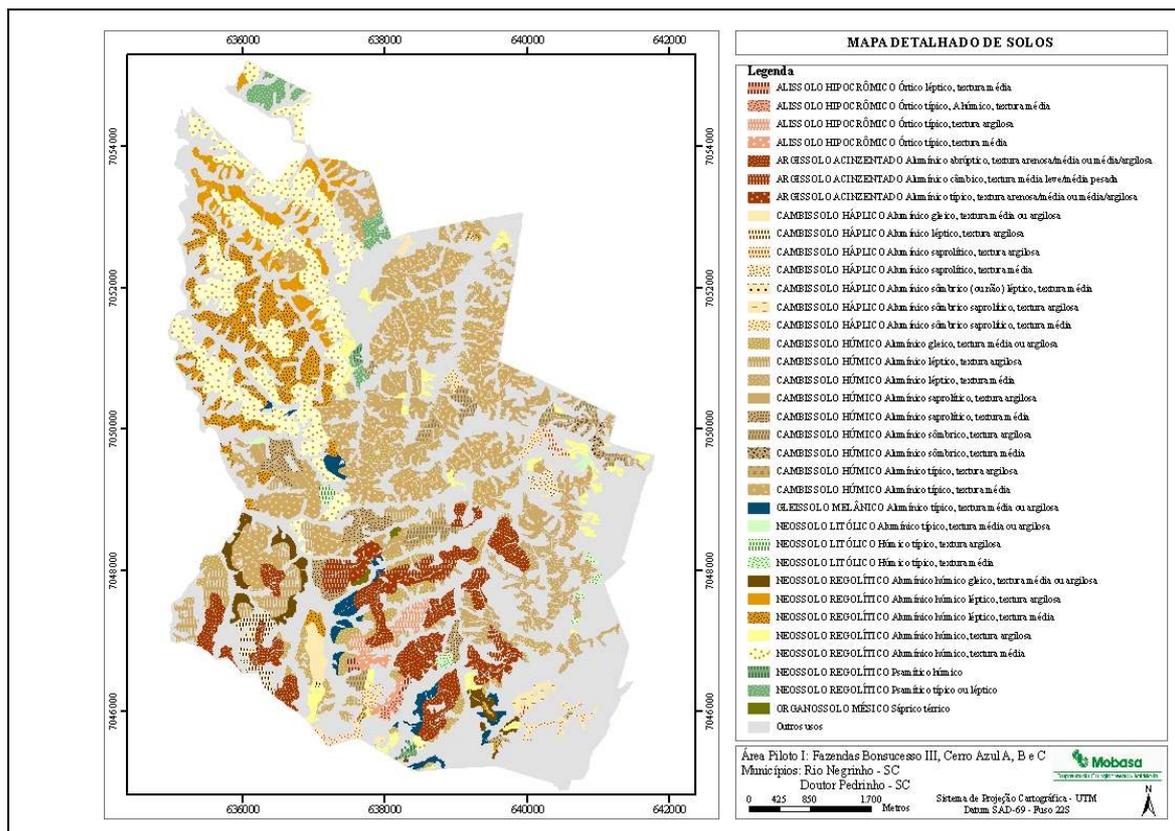
ZANI FILHO, J. **Adubação de base e aplicação de calcário em *Pinus caribaea* var. *hondurensis***. (no prelo), 2007.

ZUR, B.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; HAMMOND, L.C. Total resistance to water flow in field soybeans: II. Liming soil moisture. **Agron. J.**, n.74, p.99-105, 1982.

ANEXOS

ANEXO 01

**MAPA PEDOLÓGICO
DETALHADO DA ÁREA
PILOTO N° 1**



ANEXO 02

**BANCO DE DADOS
DENDROMÉTRICOS E
DO MEIO FÍSICO COM
RESULTADOS DE
ANÁLISES DE SOLOS**

DESCRIÇÃO DO BANCO DE DADOS

Neste anexo, é apresentado o Banco de Dados de Crescimento de *P. taeda* de parcelas de inventário da MOBASA, em vários municípios catarinenses e um paranaense, sob diferentes características do meio físico com o objetivo de se efetuar correlações estatísticas para obtenção de modelo preditivo de produtividades desta espécie nas áreas pilotos (1 a 3) da MOBASA. Para compreensão das informações aritméticas do Banco de Dados é feita uma breve explanação dos códigos apresentados. O Banco de Dados é composto dos seguintes atributos para cada parcela de inventário estudada: município, fazenda, parcela, coordenadas Leste (COORDE) e Norte (COORDN), nº da amostra, profundidade de coleta, dados de crescimento de *P.taeda* (HDOM, IMA, idade etc.), clima, altitude, profundidade efetiva, textura, altura do lençol freático etc., relevo (situação e declive), atributos químicos (pH CaCl₂, H+Al³⁺, Al³⁺, SB, CTC, matéria orgânica, V% e m%); granulométricos (teores de argila, silte e areia) e físico-hídricos: microporosidade (6 KPa), capacidade de campo (10 KPa), umidade crítica (100 KPa), ponto de murcha permanente (1.500 KPa), umidade de campo (UATUAL) e água disponível (ADISP) das camadas superficiais (0 – 20 cm: nº 1) e das camadas subsuperficiais (30 – 50 cm: nº 2). Cada um destes atributos é descrito a seguir:

MUNICÍPIOS :

1 = RIO NEGRINHO e DOUTOR PEDRINHO – SC.

2 = BOCAINA DO SUL – SC.

3 = TIJUCAS DO SUL – PR.

FAZENDAS MAPEADAS:

1. Bom Sucesso III

2. Butiá III (Cancelada)

3. Cerro Azul - Gleba A

4. Cerro Azul - Gleba B

5. Cerro Azul - Gleba C

6. Capitão Mor III

7. Taquarooca

CLIMA:

Precipitação (em mm)

Temperatura : máxima, mínima e média (°C)

SOLOS:

PROFUNDIDADE DE COLETA (cm) :

1 : 000 - 020

2 : 030 - 050

PROFUNDIDADE EFETIVA :

1 : saprolítico = horizonte “C” inferior a 100 cm profundidade

2 : raso = 000 – 050 cm

3 : pouco profundo = 050 – 100 cm

4 : profundo = 100 – 200 cm

5 : muito profundo = > 200 cm

ALTURA DO LENÇOL FREÁTICO :

1 : menor que 100 cm

2 : entre 100 cm e 150 cm

3 : entre 150 cm e 250 cm

4 : maior que 250 cm

ANÁLISES QUÍMICAS :

Complexo de Troca : pH CaCl₂, P (disponível), K⁺, H⁺ + Al³⁺, Al³⁺, SB (Soma de Bases: Ca⁺² + Mg⁺² + K⁺ + Na⁺ em mmol_c dm⁻³ solo), CTC (capacidade de troca

catiônica), MO (matéria orgânica), V% (Saturação por bases), m% (saturação por alumínio).

CLASSE TEXTURAL :

- 1 : arenosa (classes areia e areia franca, ou seja, teores de argila menores de 15%)
- 2 : média leve ($15\% \leq$ teores de argila ≤ 20)
- 3 : média ($20\% <$ teores de argila ≤ 27)
- 4 : média pesada ($27\% <$ teores de argila ≤ 35)
- 5 : argilosa ($35\% <$ teores de argila < 60)
- 6 : muito argilosa (teores de argila ≥ 60)

RELEVO :

a) Situação:

- 1 : Várzea
- 2 : Terço Inferior de Encosta
- 3 : Terço Médio de Encosta
- 4 : Terço Superior de Encosta
- 5 : Topo de elevação

b) Declive (%)

GEOLOGIA :

- 1 : Arenito Formação Mafra
- 2 : Folhelho Formação Rio do Sul
- 3 : Argilito Grupo Passa Dois
- 4 : Granito Embasamento Cristalino

ALTITUDE (m) :

Em relação ao nível do mar

DADOS DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE *Pinus sp.*

DIÂMETRO MÉDIO À ALTURA DO PEITO (cm)

ALTURA MÉDIA (m)

HDOM : Altura dominante (m)

IS_15 : Índice de Sítio aos 15 anos de idade (m)

QUADRO 1 - BANCO DE DADOS DENDROMÉTRICOS DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA

MUNICIP	FAZENDA	PARCELA	COORDN	COORDE	IDADE	DAPMED	HMED	HDOM	IS_15
1	1	2	635585	7053395	13	19,2	15,2	16,5	17,9
1	1	3	636614	7053342	13	19,3	14,4	17,3	18,8
1	1	4	636618	7053371	13	18,7	15,7	15,2	16,5
1	1	5	636113	7052944	13	20,8	14,2	15,1	16,4
1	1	7	637214	7051503	13	21,2	15,5	16,7	18,1
1	1	9	637373	7052448	13	22,0	15,2	16,2	17,6
1	3	2	635690	7052313	12	18,8	13,0	13,5	15,5
1	3	3	636525	7051262	12	17,8	12,3	12,8	14,6
1	3	6	635418	7050747	12	19,7	13,8	14,4	16,4
1	3	7	636805	7049223	12	19,9	14,1	14,8	16,9
1	3	10	637669	7048753	12	17,0	12,0	12,6	14,4
1	3	11	636289	7048193	12	17,6	14,1	15,1	17,2
1	3	13	638244	7047839	12	14,7	9,5	9,9	11,3
1	3	15	638208	7046726	12	17,7	14,4	15,4	17,6
1	3	17	637765	7048276	12	16,0	12,9	13,9	15,9
1	3	19	637461	7049375	12	16,6	13,1	14,0	16,0
1	4	2	638464	7051524	15	19,7	18,1	18,6	18,6
1	4	3	638014	7050344	15	20,5	18,7	19,2	19,2
1	4	6	639066	7050200	15	20,3	17,0	17,2	17,2
1	4	7	639438	7049084	15	17,1	16,1	16,5	16,5
1	4	10	640485	7049265	15	15,9	13,7	13,8	13,8
1	4	12	640162	7048659	15	19,3	18,1	18,6	18,6
1	4	13	640443	7047979	15	21,5	17,7	18,0	18,0
1	4	15	639976	7047243	15	17,9	16,4	16,8	16,8
1	4	17	639072	7047511	15	23,6	19,5	19,8	19,8
1	4	20	638767	7046678	15	15,9	15,8	16,3	16,3
1	4	22	638042	7052122	15	18,3	16,7	17,1	17,1
1	4	23	639284	7051003	15	21,1	18,9	19,4	19,4
1	4	25	639586	7050632	15	22,2	17,5	17,6	17,6
1	5	1	636120	7047183	14	24,5	19,1	19,7	20,5
1	5	3	637010	7046331	14	20,3	18,2	18,5	19,2
1	5	5	637786	7046098	14	16,3	15,5	15,8	16,4
1	5	6	637740	7045966	14	16,7	15,2	15,4	16,0
1	5	7	638192	7045380	14	17,4	15,2	15,3	15,9
1	5	8	638250	7045411	14	18,1	15,1	15,1	15,7
2	6	1	610080	6932237	13	23,1	17,1	17,3	18,8
2	6	2	609966	6932509	13	24,9	17,7	17,8	19,4
2	6	3	610704	6932290	13	24,0	18,4	19,0	20,6
2	6	4	610050	6931825	13	23,8	17,3	17,4	19,0
2	6	5	610453	6932518	13	24,8	18,2	18,4	20,0
2	6	6	610665	6931987	13	21,5	17,1	17,6	19,2
2	6	7	610557	6932378	13	24,5	18,9	19,5	21,2
2	6	8	610070	6933172	13	25,0	17,8	17,8	19,4
2	6	9	609620	6932939	13	24,9	17,3	17,1	18,6
2	6	10	609800	6932380	13	24,0	17,6	17,8	19,4
2	6	11	609772	6932940	13	23,0	17,1	17,2	18,7
2	6	12	610496	6931977	13	24,2	16,5	16,2	17,6
2	6	13	610552	6932120	13	24,3	18,2	18,6	20,3
2	6	14	610678	6932088	13	22,5	17,2	17,6	19,2
3	7	1	689020	7123770	15	22,0	19,2	20,5	20,5
3	7	6	690210	7123330	15	21,7	19,5	21,0	21,0
3	7	7	690800	7122810	15	24,9	22,2	23,2	23,2
3	7	10	691420	7122970	15	21,5	19,7	21,2	21,2
3	7	11	689835	7123850	15	20,5	17,0	18,5	18,5

QUADRO 2. BANCO DE DADOS DE LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA

MUNICIP	FAZENDA	PARCELA	COORDE	COORDN	IS_15	PROEFE	LENFRE	SITUA	DECLIVE	GEOLOG	ALT
1	1	2	635585	7053395	17,9	4	3	2	15	1	970
1	1	3	636614	7053342	18,8	4	3	2	16	1	1000
1	1	4	636618	7053371	16,5	3	1	4	14	2	990
1	1	5	636113	7052944	16,4	4	3	2	12	1	1000
1	1	7	637214	7051503	18,1	4	2	4	3	1	1000
1	1	9	637373	7052448	17,6	4	3	2	5	2	1000
1	3	2	635690	7052313	15,5	4	3	3	12	2	975
1	3	3	636525	7051262	14,6	4	3	2	5	2	1000
1	3	6	635418	7050747	16,4	4	3	2	7	1	975
1	3	7	636805	7049223	16,9	1	3	4	3	1	990
1	3	10	637669	7048753	14,4	1	2	3	8	2	970
1	3	11	636289	7048193	17,2	4	3	3	4	1	950
1	3	13	638244	7047839	11,3	4	3	1	2	1	960
1	3	15	638208	7046726	17,6	3	1	4	10	1	950
1	3	17	637765	7048276	15,9	3	3	2	14	2	990
1	3	19	637461	7049375	16,0	4	2	4	2	2	965
1	4	2	638464	7051524	18,6	4	3	2	7	1	930
1	4	3	638014	7050344	19,2	4	3	3	16	1	950
1	4	6	639066	7050200	17,2	3	2	3	5	2	950
1	4	7	639438	7049084	16,5	4	2	2	4	1	945
1	4	10	640485	7049265	13,8	4	3	3	10	2	950
1	4	12	640162	7048659	18,6	4	3	3	4	1	955
1	4	13	640443	7047979	18,0	1	3	3	17	2	950
1	4	15	639976	7047243	16,8	1	3	1	3	2	965
1	4	17	639072	7047511	19,8	1	3	3	9	1	940
1	4	20	638767	7046678	16,3	3	3	1	5	2	950
1	4	22	638042	7052122	17,1	4	3	2	7	2	940
1	4	23	639284	7051003	19,4	4	4	2	10	1	940
1	4	25	639586	7050632	17,6	3	1	4	7	1	905
1	5	1	636120	7047183	20,5	1	3	2	6	1	1000
1	5	3	637010	7046331	19,2	1	3	1	3	1	960
1	5	5	637786	7046098	16,4	1	3	1	3	1	960
1	5	6	637740	7045966	16,0	3	1	1	3	1	960
1	5	7	638192	7045380	15,9	3	1	4	6	1	950
1	5	8	638250	7045411	15,7	3	3	2	9	1	980
2	6	1	610080	6932237	18,8	4	3	2	7	3	975
2	6	2	609966	6932509	19,4	1	3	4	3	3	990
2	6	3	610704	6932290	20,6	1	2	3	8	3	970
2	6	4	610455	6931758	19,0	4	3	3	4	3	950
2	6	5	610453	6932518	20,0	4	3	1	12	3	960
2	6	6	610665	6931987	19,2	3	1	4	10	3	950
2	6	7	610557	6932378	21,2	3	3	2	14	3	990
2	6	8	610070	6933172	19,4	4	2	4	12	3	965
2	6	9	609623	6932939	18,6	4	3	2	17	3	930
2	6	10	609868	6932360	19,4	4	3	3	16	3	950
2	6	11	609772	6932940	18,7	4	3	1	12	3	980
2	6	12	610496	6931977	17,6	4	2	4	12	3	990
2	6	13	610552	6932120	20,3	4	3	2	17	3	970
2	6	14	610678	6932088	19,2	4	3	3	16	3	950
3	7	1	689020	7123770	20,5	4	4	2	22	4	825
3	7	6	690210	7123330	21,0	1	4	2	30	4	802
3	7	7	690800	7122810	23,2	4	4	3	20	4	800
3	7	10	691420	7122970	21,2	4	4	3	25	4	815
3	7	11	689835	7123850	18,5	3	2	4	12	4	850

QUADRO 3. BANCO DE DADOS GRANULOMÉTRICOS DE SOLOS DAS ÁREAS PILOTOS
Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA

MUNICIP	FAZENDA	PARCELA	COORDE	COORDN	IS_15	ARG1	SILTE1	AREIA1	ARG2	SILTE2	AREIA2
1	1	2	635585	7053395	17,9	23,9	27,3	48,8	40,7	7,1	52,2
1	1	3	636614	7053342	18,8	40,0	11,2	48,8	40,3	9,1	50,6
1	1	4	636618	7053371	16,5	50,6	14,9	34,5	56,8	12,8	30,4
1	1	5	636113	7052944	16,4	22,7	21,0	55,5	33,6	12,2	54,2
1	1	7	637214	7051503	18,1	30,2	5,3	64,4	31,1	6,3	62,6
1	1	9	637373	7052448	17,6	27,0	5,0	68,0	26,4	15,1	58,5
1	3	2	635690	7052313	15,5	33,6	20,5	45,9	34,4	13,6	52
1	3	3	636525	7051262	14,6	18,0	43,6	38,4	40,5	7,5	52
1	3	6	635418	7050747	16,4	9,0	20,0	71,0	16,9	15,7	67,4
1	3	7	636805	7049223	16,9	29,5	18,3	52,2	42,3	2,7	55,1
1	3	10	637669	7048753	14,4	19,6	6,0	74,3	21,8	5,5	72,7
1	3	11	636289	7048193	17,2	35,8	23,5	40,7	34,6	4,2	61,2
1	3	13	638244	7047839	11,3	26,2	13,2	60,6	33,2	4,1	62,7
1	3	15	638208	7046726	17,6	26,5	6,1	67,4	34,1	4,5	61,4
1	3	17	637765	7048276	15,9	26,3	5,4	68,3	33,8	5,1	61,1
1	3	19	637461	7049375	16,0	32,9	11,8	55,3	41,6	4,5	53,9
1	4	2	638464	7051524	18,6	27,2	2,7	70,1	32,2	7,2	60,6
1	4	3	638014	7050344	19,2	58,4	16,4	25,2	61	18,1	20,9
1	4	6	639066	7050200	17,2	33,2	5,5	61,3	37,9	12	50,1
1	4	7	639438	7049084	16,5	32,5	3,2	64,3	29,7	7,2	63,1
1	4	10	640485	7049265	13,8	38,2	9,4	52,4	37,3	10,5	52,2
1	4	12	640162	7048659	18,6	38,2	6,8	55,0	37,2	10,4	52,4
1	4	13	640443	7047979	18,0	34,0	5,1	60,7	29,2	6,8	64
1	4	15	639976	7047243	16,8	38,8	4,4	56,8	35,9	10,5	63,6
1	4	17	639072	7047511	19,8	26,2	36,7	37,1	26,6	28,2	39,2
1	4	20	638767	7046678	16,3	42,9	23,8	33,3	31,1	34,3	34,6
1	4	22	638042	7052122	17,1	51,0	13,3	35,7	44,9	13,1	42
1	4	23	639284	7051003	19,4	20,0	18,9	61,1	22	2	76
1	4	25	639586	7050632	17,6	33,3	7,5	59,2	41,9	10,7	47,4
1	5	1	636120	7047183	20,5	56,9	24,7	18,4	49,5	18,7	31,8
1	5	3	637010	7046331	19,2	54,5	11,8	33,7	45,5	6,6	47,9
1	5	5	637786	7046098	16,4	64,2	20,9	14,9	47	37,4	15,6
1	5	6	637740	7045966	16,0	46,0	15,9	38,1	43,5	10,8	45,7
1	5	7	638192	7045380	15,9	52,9	10,3	36,8	59	11,7	29,3
1	5	8	638250	7045411	15,7	30,8	2,6	66,6	33,8	1,9	64,3
2	6	1	610080	6932237	18,8	43,3	39,2	17,5	43	35,9	21,1
2	6	2	609966	6932509	19,4	43,3	37,2	19,5	43,7	34,9	21,4
2	6	3	610704	6932290	20,6	42,2	27,6	30,2	41,3	25,7	33
2	6	4	610455	6931758	19,0	36,9	42,4	20,7	39,7	29,9	30,4
2	6	5	610453	6932518	20,0	45,2	34,9	19,9	47,7	33,6	18,7
2	6	6	610665	6931987	19,2	37,5	24,8	37,7	37,9	22,8	39,3
2	6	7	610557	6932378	21,2	44,6	34,2	21,2	46,1	30,8	23,1
2	6	8	610070	6933172	19,4	44,6	36,9	18,5	49,4	31,7	18,9
2	6	9	609623	6932939	18,6	40,4	37,7	21,9	41,5	34	24,5
2	6	10	609868	6932360	19,4	44,7	34,7	20,6	44	35	21
2	6	11	609772	6932940	18,7	43,3	34,1	22,6	41,9	33,7	24,4
2	6	12	610496	6931977	17,6	46,3	34	19,7	46,9	35	18,1
2	6	13	610552	6932120	20,3	43,9	39,5	16,6	46,3	36,4	17,3
2	6	14	610678	6932088	19,2	43,7	36,1	20,2	46,6	33	20,4
3	7	1	689020	7123770	20,5	51,1	18,1	30,8	54,3	18,1	27,6
3	7	6	690210	7123330	21,0	41,9	20,3	37,8	39,9	23	37,1
3	7	7	690800	7122810	23,2	46,8	23,1	30,1	49,1	23,6	27,3
3	7	10	691420	7122970	21,2	51,1	23,9	25	53,6	23,6	22,8
3	7	11	689835	7123850	18,5	54	19	27	59	18,7	22,3

QUADRO 4. BANCO DE DADOS QUÍMICOS DE SOLOS DA CAMADA SUPERFICIAL (0 – 20 cm), DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA

MUNICIP	FAZENDA	PARCELA	COORDE	COORDN	IS_15	PHCACL1	P1	K1	MO1	AL1	HAL1	SB1	CTC1	V1
1	1	2	635585	7053395	17,9	4,8	2,4	0,07	4,7	6,1	24,41	0,27	24,68	1,10
1	1	3	636614	7053342	18,8	4,8	1,3	0,04	5,0	4,9	17,3	0,14	17,44	0,78
1	1	4	636618	7053371	16,5	4,6	2,0	0,09	7,8	7,2	27,38	0,09	27,47	0,34
1	1	5	636113	7052944	16,4	4,6	2,5	0,05	6,3	5,5	24,41	0,15	24,56	0,59
1	1	7	637214	7051503	18,1	4,5	1,9	0,09	3,4	7,3	27,38	0,19	27,57	0,70
1	1	9	637373	7052448	17,6	4,4	1,3	0,23	3,7	5,2	24,41	0,53	24,95	2,12
1	3	2	635690	7052313	15,5	5,0	2,6	0,16	5,6	5,0	21,76	0,5	22,62	2,8
1	3	3	636525	7051262	14,6	4,7	2,0	0,09	8,0	9,3	38,64	0,19	39,83	0,49
1	3	6	635418	7050747	16,4	4,7	3,2	0,07	5,3	5,7	21,76	0,17	21,93	0,78
1	3	7	636805	7049223	16,9	4,8	1,4	0,07	6,6	6,4	27,38	0,27	27,65	0,98
1	3	10	637669	7048753	14,4	4,6	1,3	0,03	3,1	3,4	15,42	0,23	15,69	1,44
1	3	11	636289	7048193	17,2	4,8	1,1	0,07	8,4	7,8	34,49	0,17	34,62	0,50
1	3	13	638244	7047839	11,3	4,8	1,7	0,05	7,1	5,5	27,38	0,25	27,63	0,89
1	3	15	638208	7046726	17,6	4,8	1,1	0,05	5,6	5,6	24,41	0,25	24,66	1,00
1	3	17	637765	7048276	15,9	4,8	1,0	0,05	4,7	4,7	21,76	0,15	21,91	0,67
1	3	19	637461	7049375	16,0	4,8	1,0	0,03	5,4	5,9	27,38	0,23	27,61	0,82
1	4	2	638464	7051524	18,6	4,7	1,2	0,05	4,4	4,8	23,3	0,16	23,46	0,68
1	4	3	638014	7050344	19,2	4,4	2,0	0,18	6,7	11,8	22,45	0,28	22,73	1,23
1	4	6	639066	7050200	17,2	4,6	0,9	0,06	4,8	5,7	24,32	0,17	24,49	0,69
1	4	7	639438	7049084	16,5	4,8	1,7	0,05	4,4	4,9	24,41	0,16	24,66	1,00
1	4	10	640485	7049265	13,8	4,4	0,7	0,06	3,8	5,0	30,71	0,17	30,97	0,93
1	4	12	640162	7048659	18,6	4,7	1,3	0,03	4,2	4,1	21,76	0,14	21,99	1,03
1	4	13	640443	7047979	18,0	4,5	1,3	0,04	4,9	5,0	24,41	0,15	24,65	0,96
1	4	15	639976	7047243	16,8	4,3	1,4	0,07	2,0	5,5	34,45	0,18	34,72	0,78
1	4	17	639072	7047511	19,8	4,7	2,1	0,03	4,5	5,9	27,38	0,23	27,61	0,92
1	4	20	638767	7046678	16,3	4,5	2,0	0,05	4,3	8,7	38,64	0,15	38,79	0,38
1	4	22	638042	7052122	17,1	4,5	2,1	0,06	4,4	7,5	43,35	0,16	43,51	0,36
1	4	23	639284	7051003	19,4	4,7	2,7	0,03	4,5	4,6	24,41	0,13	24,54	0,51
1	4	25	639586	7050632	17,6	4,4	2,7	0,07	4,3	5,7	34,45	0,17	34,62	0,48
1	5	1	636120	7047183	20,5	4,3	2,6	0,13	8,2	15,6	61,17	0,24	61,5	0,53
1	5	3	637010	7046331	19,2	4,4	2,9	0,16	8	11,4	43,35	0,26	43,6	0,59
1	5	5	637786	7046098	16,4	4,4	2,3	0,23	8	14,3	54,54	0,34	55,0	0,78
1	5	6	637740	7045966	16,0	4,6	1,7	0,14	4,1	9,7	49,62	0,25	49,96	0,69
1	5	7	638192	7045380	15,9	4,7	2,9	0,29	4,8	9,1	38,64	0,52	39,33	1,75
1	5	8	638250	7045411	15,7	4,6	1,7	0,04	3,2	5,5	27,38	0,14	27,52	0,49
2	6	1	610080	6932237	18,8	3,6	17	0,21	7,8	11,2	31,3	0,41	31,71	1,00
2	6	2	609966	6932509	19,4	3,8	12	0,21	6,3	9,8	31,3	0,81	32,11	3,00
2	6	3	610704	6932290	20,6	3,8	11	0,26	5,1	7,4	22,8	0,56	23,36	2,00
2	6	4	610455	6931758	19,0	3,8	8	0,13	5,2	8,1	25,3	0,43	25,73	2,00
2	6	5	610453	6932518	20,0	3,8	8	0,23	7,2	9,3	28,1	0,53	28,63	2,00
2	6	6	610665	6931987	19,2	3,8	9	0,15	4,9	6,7	22,8	0,35	23,15	2,00
2	6	7	610557	6932378	21,2	3,8	13	0,13	6,8	8,9	28,1	0,33	28,43	1,00
2	6	8	610070	6933172	19,4	3,8	15	0,28	8,6	9,8	28,1	1,98	30,08	7,00
2	6	9	609623	6932939	18,6	3,5	12	0,3	5,3	11,7	34,7	0,6	35,3	2,00
2	6	10	609868	6932360	19,4	3,8	14	0,08	6,4	9,8	28,1	0,28	28,38	1,00
2	6	11	609772	6932940	18,7	3,5	17	0,38	6,8	11,9	34,7	0,68	35,38	2,00
2	6	12	610496	6931977	17,6	3,8	8	0,16	4,2	8,6	25,3	0,86	26,16	3,00
2	6	13	610552	6932120	20,3	3,8	11	0,21	6,1	8,7	28,1	0,61	28,71	2,00
2	6	14	610678	6932088	19,2	3,7	10	0,13	6,1	9,2	28,1	0,33	28,43	1,00
3	7	1	689020	7123770	20,5	3,9	4	0,10	1,70	3,10	13,5	0,40	13,90	0,30
3	7	6	690210	7123330	21,0	3,8	3	0,09	1,00	3,40	15,0	0,29	15,29	0,20
3	7	7	690800	7122810	23,2	3,9	4	0,14	1,8	2,5	12,1	0,34	12,44	0,30
3	7	10	691420	7122970	21,2	3,8	5	0,12	2,6	3,5	16,6	0,42	17,02	0,20
3	7	11	689835	7123850	18,5	3,9	2	0,11	2,2	3,5	16,6	0,31	16,91	0,20

QUADRO 5. BANCO DE DADOS QUÍMICOS DE SOLOS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (30 – 50 cm), DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1, 2 e 3, NA MOBASA

MUNICIP	FAZENDA	PARCELA	COORDE	COORDN	IS_15	PHCACL2	P2	K2	MO2	AL2	HAL2	SB2	CTC2	V2
1	1	2	635585	7053395	17,9	4,7	0,7	0,04	2,7	3,6	13,75	0,14	13,89	1,0
1	1	3	636614	7053342	18,8	4,7	0,6	0,02	2,4	3,8	15,42	0,12	15,84	0,8
1	1	4	636618	7053371	16,5	4,6	0,7	0,05	5,4	6,1	21,76	0,25	22,01	1,1
1	1	5	636113	7052944	16,4	4,7	0,5	0,07	3,0	3,7	15,42	0,17	15,57	0,9
1	1	7	637214	7051503	18,1	4,7	1,5	0,04	3,8	5,9	24,41	0,14	24,58	0,6
1	1	9	637373	7052448	17,6	4,7	1,4	0,02	3,7	4,3	13,75	0,22	13,97	1,6
1	3	2	635690	7052313	15,5	4,9	0,7	0,05	3,3	4,2	19,4	0,25	19,65	1,3
1	3	3	636525	7051262	14,6	4,7	0,5	0,05	6,3	8,1	24,41	0,15	24,56	0,6
1	3	6	635418	7050747	16,4	4,8	0,8	0,02	3,8	3,8	13,75	0,12	13,87	0,9
1	3	7	636805	7049223	16,9	4,8	0,6	0,03	2,8	3,9	15,42	0,23	15,65	1,4
1	3	10	637669	7048753	14,4	4,6	0,4	0,01	2,2	3,7	19,4	0,21	19,61	1,1
1	3	11	636289	7048193	17,2	4,8	0,6	0,03	6,0	5,2	21,76	0,23	21,99	1,0
1	3	13	638244	7047839	11,3	4,8	0,6	0,02	2,4	3	10,93	0,22	11,15	2,0
1	3	15	638208	7046726	17,6	4,8	0,7	0,02	4,0	5,7	21,76	0,32	22,38	3,1
1	3	17	637765	7048276	15,9	4,9	0,6	0,01	2,8	3,6	21,76	0,21	21,91	1,5
1	3	19	637461	7049375	16,0	4,8	0,5	0,02	3,1	4,9	24,41	0,22	24,53	1,4
1	4	2	638464	7051524	18,6	4,8	1,0	0,01	3,4	4	19,4	0,21	19,61	1,1
1	4	3	638014	7050344	19,2	4,7	0,9	0,09	4,2	8,6	30,71	0,29	31	0,9
1	4	6	639066	7050200	17,2	4,7	0,4	0,02	3,4	5,2	21,76	0,32	22,08	1,5
1	4	7	639438	7049084	16,5	4,9	0,4	0,02	2,4	3,2	15,42	0,22	15,64	1,4
1	4	10	640485	7049265	13,8	4,7	0,4	0,02	3,1	4,2	21,76	0,22	21,98	1,0
1	4	12	640162	7048659	18,6	4,8	0,6	0,01	2,6	3,5	15,42	0,21	15,63	1,4
1	4	13	640443	7047979	18,0	4,8	2,1	0,03	3,0	3,6	15,42	0,33	15,75	2,1
1	4	15	639976	7047243	16,8	4,7	1,7	0,06	2,6	6,5	30,71	0,26	30,97	0,6
1	4	17	639072	7047511	19,8	4,9	1,3	0,02	1,6	3,6	12,26	0,22	12,48	1,8
1	4	20	638767	7046678	16,3	4,9	1,6	0,02	1,6	3,4	10,93	0,12	11,05	1,1
1	4	22	638042	7052122	17,1	4,7	1,2	0,02	3,9	5,5	27,38	0,22	27,6	0,8
1	4	23	639284	7051003	19,4	4,8	1,2	0,01	2,7	3,1	13,75	0,31	14,06	2,2
1	4	25	639586	7050632	17,6	4,8	2,7	0,02	4,3	3,4	15,42	0,12	15,54	0,8
1	5	1	636120	7047183	20,5	4,8	1,7	0,12	5,6	10,7	43,35	0,22	43,57	0,5
1	5	3	637010	7046331	19,2	4,5	1,0	0,08	7,4	10,2	38,64	0,18	38,82	0,5
1	5	5	637786	7046098	16,4	4,8	1,4	0,14	2,5	10,1	34,45	0,24	34,69	0,7
1	5	6	637740	7045966	16,0	4,6	1,4	0,06	6,3	11	38,64	0,16	38,8	0,4
1	5	7	638192	7045380	15,9	4,9	1,6	0,13	4,5	17,6	30,71	0,23	30,94	0,7
1	5	8	638250	7045411	15,7	4,8	1,6	0,02	3,5	4,3	24,41	0,12	24,58	0,5
2	6	1	610080	6932237	18,8	3,6	3,0	0,15	7,4	11,2	31,3	0,35	31,65	1,0
2	6	2	609966	6932509	19,4	3,7	4,0	0,13	5,4	9,3	28,1	0,43	28,53	2,0
2	6	3	610704	6932290	20,6	3,9	4,0	0,19	3,5	7,1	22,8	0,39	23,19	2,0
2	6	4	610455	6931758	19,0	3,8	3,0	0,11	4,4	7,9	25,3	0,31	25,6	1,0
2	6	5	610453	6932518	20,0	3,8	4,0	0,26	7,1	9,7	28,1	0,66	28,76	2,0
2	6	6	610665	6931987	19,2	3,8	6,0	0,12	4,1	6,8	22,8	0,32	23,12	1,0
2	6	7	610557	6932378	21,2	3,8	5,0	0,14	5	9,3	28,1	0,34	28,44	1,0
2	6	8	610070	6933172	19,4	3,8	4,0	0,17	6,2	10,7	28,1	0,67	28,77	2,0
2	6	9	609623	6932939	18,6	3,6	5,0	0,26	3,4	12,1	34,7	0,46	35,16	1,0
2	6	10	609868	6932360	19,4	3,8	4,0	0,13	5,1	9,7	28,1	0,33	28,43	1,0
2	6	11	609772	6932940	18,7	3,8	4,0	0,11	3,2	10,5	28,1	0,31	28,41	1,0
2	6	12	610496	6931977	17,6	3,8	4,0	0,13	3,8	8,6	28,1	0,83	28,93	3,0
2	6	13	610552	6932120	20,3	3,8	3,0	0,12	6	8,8	28,1	0,32	28,42	1,0
2	6	14	610678	6932088	19,2	3,9	6,0	0,11	5,2	8,4	25,3	0,31	25,61	1,0
3	7	1	689020	7123770	20,5	4	1,0	0,1	0,8	3	10,9	0,28	11,18	0,3
3	7	6	690210	7123330	21,0	4,2	1,0	0,09	0,9	2,3	8	0,25	8,25	0,3
3	7	7	690800	7122810	23,2	4,1	1,0	0,14	0,5	1,7	8	0,27	8,27	0,3
3	7	10	691420	7122970	21,2	3,8	2,0	0,12	0,9	3,4	16,6	0,27	16,87	0,2
3	7	11	689835	7123850	18,5	4,1	2,0	0,11	0,7	2,5	10,9	0,28	11,18	0,3

QUADRO 6. BANCO DE DADOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DA CAMADA SUPERFICIAL (5 – 10 cm) DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1 e 3, NA MOBASA

MUNICIP	FAZENDA	PARCELA	COORDE	COORDN	IDADE	DENSID1	6KPA1	10KPA1	100KPA1	1500KPA1	UATUAL1	PORTOT1	MACRO1	ADISP1
1	1	2	635585	7053395	13	0,767045	0,399699	0,384068	0,3318	0,3024499	0,262742	0,690685	0,290986	0,081618
1	1	3	636614	7053342	13									
1	1	4	636618	7053371	13									
1	1	5	636113	7052944	13	0,749609	0,362747	0,347892	0,264285	0,2512444	0,304138	0,653913	0,291166	0,096648
1	1	7	637214	7051503	13	0,89560	0,39215	0,37068	0,31074	0,28716	0,30104	0,70286	0,31071	0,08352
1	1	9	637373	7052448	13	0,736108	0,437622	0,424116	0,368636	0,313933	0,348033	0,723058	0,285436	0,110183
1	3	2	635690	7052313	12	0,88416	0,49348	0,483661	0,433867	0,377815	0,320807	0,692975	0,199495	0,105846
1	3	3	636525	7051262	12									
1	3	6	635418	7050747	12	0,808451	0,316402	0,307296	0,280566	0,244569	0,205977	0,637816	0,321414	0,062727
1	3	7	636805	7049223	12	0,931019	0,410319	0,393844	0,343152	0,2724979	0,251919	0,651885	0,241566	0,121346
1	3	10	637669	7048753	12									
1	3	11	636289	7048193	12	0,700626	0,484461	0,469141	0,410163	0,3412701	0,367292	0,73997	0,255509	0,127871
1	3	13	638244	7047839	12									
1	3	15	638208	7046726	12									
1	3	17	637765	7048276	12									
1	3	19	637461	7049375	12	1,097046	0,412065	0,399384	0,370761	0,3177994	0,333401	0,59463	0,182564	0,081584
1	4	2	638464	7051524	15									
1	4	3	638014	7050344	15									
1	4	6	639066	7050200	15									
1	4	7	639438	7049084	15									
1	4	10	640485	7049265	15									
1	4	12	640162	7048659	15									
1	4	13	640443	7047979	15									
1	4	15	639976	7047243	15									
1	4	17	639072	7047511	15	0,798336	0,498622	0,480406	0,42202	0,4031825	0,501271	0,71437	0,215747	0,077223
1	4	20	638767	7046678	15	0,755533	0,594392	0,586877	0,559133	0,5091835	0,540906	0,736686	0,142294	0,077694
1	4	22	638042	7052122	15	0,700946	0,476602	0,469505	0,437646	0,400228	0,45107	0,719468	0,242866	0,069277
1	4	23	639284	7051003	15	0,921234	0,407097	0,388643	0,343521	0,2812497	0,308019	0,699292	0,292194	0,107393
1	4	25	639586	7050632	15									
1	5	1	636120	7047183	14									
1	5	3	637010	7046331	14									
1	5	5	637786	7046098	14	0,65252	0,668597	0,662985	0,652137	0,6058264	0,545893	0,775307	0,106709	0,057158
1	5	6	637740	7045966	14	0,742497	0,568665	0,562805	0,548596	0,5195993	0,47977	0,745733	0,177068	0,043206
1	5	7	638192	7045380	14									
1	5	8	638250	7045411	14	1,019648	0,53933	0,532683	0,511464	0,4908698	0,529937	0,683282	0,143953	0,041813
3	7	1	689020	7123770	15	0,992781	0,524218	0,521093	0,489157	0,4723378	0,503643	0,646412	0,122195	0,048756
3	7	6	690210	7123330	15	0,510197	0,45497	0,446087	0,398059	0,383622	0,386518	0,736424	0,281453	0,062465
3	7	7	690800	7122810	15	1,042822	0,58025	0,557546	0,503129	0,4873429	0,546073	0,631058	0,050808	0,070203
3	7	10	691420	7122970	15	0,913011	0,470087	0,465226	0,424092	0,4132053	0,441925	0,706054	0,235968	0,052021
3	7	11	689835	7123850	15	0,778732	0,49039	0,484253	0,423417	0,4123126	0,476985	0,695008	0,204618	0,07194

QUADRO 7. BANCO DE DADOS FÍSICO-HÍDRICOS DE SOLOS DA CAMADA SUBSUPERFICIAL (30 – 40 cm) DAS ÁREAS PILOTOS Nº 1 e 3, NA MOBASA

MUNICIP	FAZENDA	PARCELA	COORDDE	COORDN	IDADE	DENSID2	6KPA2	10KPA2	100KPA2	1500KPA2	UATUAL2	PORTOT2	MACRO2	ADISP2
1	1	2	635585	7053395	13	1,081698	0,398836	0,387586	0,345394	0,3130476	0,276146	0,568018	0,169182	0,074538
1	1	3	636614	7053342	13									
1	1	4	636618	7053371	13									
1	1	5	636113	7052944	13	1,080549	0,443225	0,431138	0,351193	0,3406346	0,376656	0,583263	0,140038	0,090504
1	1	7	637214	7051503	13	1,016948	0,446049	0,42627	0,380338	0,3597147	0,369502	0,631429	0,185381	0,066555
1	1	9	637373	7052448	13	0,947912	0,413324	0,391835	0,332208	0,3056615	0,307954	0,643946	0,230621	0,086174
1	3	2	635690	7052313	12	0,937287	0,388342	0,376561	0,34511	0,3160821	0,314052	0,626932	0,23859	0,060479
1	3	3	636525	7051262	12									
1	3	6	635418	7050747	12	1,176939	0,371125	0,360304	0,325935	0,2977005	0,267581	0,585497	0,214372	0,062604
1	3	7	636805	7049223	12	1,252263	0,353493	0,341937	0,303813	0,2832775	0,266111	0,529639	0,176146	0,05866
1	3	10	637669	7048753	12									
1	3	11	636289	7048193	12	0,846885	0,460603	0,44543	0,414139	0,3859773	0,388859	0,680585	0,219983	0,059453
1	3	13	638244	7047839	12									
1	3	15	638208	7046726	12									
1	3	17	637765	7048276	12									
1	3	19	637461	7049375	12	1,21951	0,439135	0,426372	0,396944	0,3815747	0,408434	0,566948	0,127813	0,044797
1	4	2	638464	7051524	15									
1	4	3	638014	7050344	15									
1	4	6	639066	7050200	15									
1	4	7	639438	7049084	15									
1	4	10	640485	7049265	15									
1	4	12	640162	7048659	15									
1	4	13	640443	7047979	15									
1	4	15	639976	7047243	15									
1	4	17	639072	7047511	15	1,239157	0,449425	0,451062	0,440533	0,4045699	0,399389	0,549265	0,09984	0,046493
1	4	20	638767	7046678	15	1,011956	0,541057	0,530199	0,500262	0,4575025	0,477747	0,656178	0,115122	0,072697
1	4	22	638042	7052122	15	0,880068	0,497366	0,487724	0,454614	0,4305269	0,4814	0,655712	0,158347	0,057197
1	4	23	639284	7051003	15	1,36021	0,386501	0,364503	0,306273	0,279479	0,366104	0,493043	0,106542	0,085024
1	4	25	639586	7050632	15									
1	5	1	636120	7047183	14									
1	5	3	637010	7046331	14									
1	5	5	637786	7046098	14	0,617479	0,520223	0,503515	0,465675	0,4395285	0,430658	0,781269	0,261046	0,063986
1	5	6	637740	7045966	14	0,771729	0,398101	0,422078	0,411119	0,3916388	0,373366	0,763739	0,365638	0,03044
1	5	7	638192	7045380	14									
1	5	8	638250	7045411	14	0,864234	0,53092	0,506629	0,439783	0,4283947	0,513615	0,595794	0,064874	0,078235
3	7	1	689020	7123770	15	1,094513	0,449542	0,445925	0,424552	0,4098748	0,449003	0,605778	0,156236	0,03605
3	7	6	690210	7123330	15	1,019277	0,500946	0,498486	0,452307	0,4453864	0,481487	0,618695	0,117749	0,0531
3	7	7	690800	7122810	15	1,028256	0,51534	0,509664	0,445408	0,4367923	0,510639	0,622988	0,107648	0,072871
3	7	10	691420	7122970	15	1,104111	0,450022	0,446682	0,405647	0,402365	0,443451	0,546129	0,096107	0,044317
3	7	11	689835	7123850	15	1,057823	0,445423	0,440082	0,390176	0,3873672	0,422675	0,565107	0,119684	0,052714

ANEXO 03

**DADOS CLIMÁTICOS DAS TRÊS
ÁREAS PILOTOS**

QUADRO 8 - DADOS CLIMATOLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS PARA A ÁREA PILOTO Nº1, MUNICÍPIOS DE RIO NEGRINHO E DOUTOR PEDRINHO, SC

MÊS	PREC_MED	TMAX (°C)	TMIN (°C)	ADA* (mm)
01	212,67	28,80	16,80	50,70
02	162,16	29,20	17,00	48,80
03	127,51	27,10	16,70	45,50
04	105,36	25,60	14,70	35,80
05	141,71	22,70	10,70	26,50
06	121,64	22,20	9,70	39,40
07	140,03	22,10	9,20	58,00
08	104,10	22,90	9,10	60,10
09	170,79	24,10	11,30	62,20
10	156,25	24,30	13,20	65,20
11	126,57	26,80	14,60	62,80
12	156,71	26,40	15,10	63,30
MÉDIA**	143,79	25,18	13,18	51,53
VARIÂNCIA	7.574,05	1,46	1,36	111,77
DESVPAD	83,42	1,11	1,09	9,14

Fonte: INMET (2006); EPAGRI (2006); *ADA = Água Disponível no Solo; ** Média Anual

QUADRO 9 - DADOS CLIMATOLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS PARA A ÁREA PILOTO Nº 2, MUNICÍPIOS DE BOCAINA DO SUL E LAGES, SC

MÊS	PREC_MED	TMAX (°C)	TMIN (°C)	ADA* (mm)
01	171,70	28,60	16,50	51,20
02	160,52	29,20	17,00	48,80
03	101,14	28,20	15,60	65,20
04	100,83	24,30	12,30	53,60
05	111,82	20,80	9,00	48,40
06	111,27	20,90	8,00	55,40
07	151,83	23,20	7,70	57,00
08	111,32	21,70	8,20	41,70
09	149,78	22,40	10,30	49,20
10	169,01	23,60	11,80	65,70
11	143,71	25,70	13,70	36,60
12	137,43	26,80	15,20	55,40
MÉDIA**	135,03	24,62	12,11	52,35
VARIÂNCIA	6.860,91	1,74	3,12	62,74
DESVPAD	78,56	1,29	1,73	7,63

Fonte: INMET (2006); EPAGRI (2006); *ADA = Água Disponível no Solo; ** Média Anual

QUADRO 10 - DADOS CLIMATOLÓGICOS MÉDIOS MENSAIS PARA A ÁREA PILOTO Nº 3,
MUNICÍPIO DE CURITIBA – PR

MÊS	PREC_MED	TMAX (°C)	TMIN (°C)	ADA* (mm)
01	192,89	28,60	16,50	57,80
02	132,73	29,50	17,00	58,60
03	117,17	29,00	16,20	58,40
04	79,01	26,60	13,50	66,70
05	95,31	23,80	10,20	48,10
06	96,67	23,30	9,30	51,30
07	106,26	23,50	8,70	48,80
08	88,76	23,30	9,60	38,70
09	113,32	25,80	11,30	58,50
10	124,59	25,90	12,50	71,00
11	117,58	26,70	14,00	60,30
12	155,02	27,10	15,40	64,00
MÉDIA**	118,28	26,09	12,85	56,85
VARIÂNCIA	4.871,88	1,77	2,58	114,28
DESVPAD	67,77	1,30	1,57	10,39

Fonte: INMET (2006); EPAGRI (2006); *ADA = Água Disponível no Solo; ** Média Anual