

Química e mineralogia de solos cultivados com Eucalipto (*Eucalyptus* sp.)Chemistry and Mineralogy of Soils cultivated with *Eucalyptus* (*Eucalyptus* sp.)

Patrícia de Pádua Castro<sup>1</sup>, Nilton Curi<sup>2</sup>, Antonio Eduardo Furtini Neto<sup>2</sup>,  
Álvaro Vilela de Resende<sup>3</sup>, Luiz Roberto Guimarães Guilherme<sup>2</sup>,  
Michele Duarte de Menezes<sup>4</sup>, Elias Frank de Araújo<sup>5</sup>, Diego Antonio França de Freitas<sup>4</sup>,  
Carlos Rogério de Mello<sup>6</sup> e Sérgio Henrique Godinho Silva<sup>7</sup>

---

**Resumo**

Análises químicas e mineralógicas foram realizadas com o objetivo de avaliar a reserva e a disponibilidade de nutrientes no solo para o crescimento do eucalipto em hortos florestais do Rio Grande do Sul. O Neosolo Quartzarênico apresentou mineralogia muito simples, com reserva em nutrientes praticamente nula. O Gleissolo Melânico, Planossolo Háplico e o Argissolo Vermelho-Amarelo revelaram baixa reserva de Ca e Mg, enquanto o Cambissolo Háplico, Neossolo Litólico e o Argissolo Vermelho apresentaram maior reserva desses nutrientes. Os dados do incremento médio anual (IMA) do eucalipto de sete anos distinguiram três conjuntos de solos em função de seus atributos diferenciais: o primeiro grupo formado por solos bem drenados (IMA  $\geq 46$  m<sup>3</sup>/ha/ano), o segundo grupo formado por solos com problemas de encharcamento (IMA  $\approx 40$  m<sup>3</sup>/ha/ano) e o terceiro grupo formado por solos muito arenosos (IMA de 38 m<sup>3</sup>/ha/ano).

**Palavras-chave:** Extratores, difração de raios-X, tipos de solos florestais, ambiente subtropical.

**Abstract**

Chemical and mineral analyses were performed with the objective of evaluating the content and availability of nutrients for *Eucalyptus* growth in forests of Rio Grande do Sul state, Brazil. The Quartzarenic Neosol presented a very simple mineralogy, with an extremely poor nutrient content. The Melanic Gleisol, Haplic Planosol and Red-Yellow Argisol revealed a low Ca and Mg content, while the Haplic Cambisol, Litholic Neosol and Red Argisol presented higher amounts of these nutrients. The data of the annual average increment (AAI) of seven-year old *Eucalyptus* permitted the distinction of three soil groups according to their differential attributes: the first group formed by well drained soils (AAI  $\geq 46$  m<sup>3</sup>/ha/year), the second group formed by waterlogged soils (AAI  $\approx 40$  m<sup>3</sup>/ha/year) and the third group formed by very sandy soils (AAI of 38 m<sup>3</sup>/ha/year).

**Keywords:** Extractors, X-ray diffraction, forest soil types, subtropical environment.

---

**INTRODUÇÃO**

A reserva e a disponibilidade de nutrientes são características edáficas relevantes para o desenvolvimento vegetal, sobretudo para as culturas de ciclo longo como o eucalipto, e podem ser avaliadas por meio das análises química e mineralógica dos solos e da sua interpretação para as condições locais.

O tipo e o teor dos constituintes mineralógicos determinam uma série de características físicas e químicas do solo. Os minerais existentes nos solos podem ser divididos em minerais primários e secundários. Os minerais primários tendem a ser herdados do material de origem e indicam a capacidade do solo em repor nutrientes para as plantas, e, na maioria dos solos brasi-

---

<sup>1</sup>Doutoranda do Departamento de Química da Universidade Estadual de Campinas - Caixa Postal 6154 - Campinas, SP - CEP 13083-970 - E-mail: [patipc2003@yahoo.com.br](mailto:patipc2003@yahoo.com.br)

<sup>2</sup>Professor do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: [niltcuri@dcs.ufla.br](mailto:niltcuri@dcs.ufla.br); [afurtini@dcs.ufla.br](mailto:afurtini@dcs.ufla.br); [guilherm@dcs.ufla.br](mailto:guilherm@dcs.ufla.br)

<sup>3</sup>Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo - Caixa Postal 285 - CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG. E-mail: [alvaro@cnpmc.embrapa.br](mailto:alvaro@cnpmc.embrapa.br)

<sup>4</sup>Doutorando do Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: [michele\\_duarte@ig.com.br](mailto:michele_duarte@ig.com.br); [diego\\_ufla@yahoo.com.br](mailto:diego_ufla@yahoo.com.br)

<sup>5</sup>Engenheiro Florestal da CMPC Celulose do Brasil Ltda. - CEP 92500-000 - Guaíba, RS - E-mail: [efaraujo@cmpcrs.com.br](mailto:efaraujo@cmpcrs.com.br)

<sup>6</sup>Professor do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: [crmello@deg.ufla.br](mailto:crmello@deg.ufla.br)

<sup>7</sup>Acadêmico de Engenharia Florestal da UFLA, bolsista de Iniciação Científica da Fapemig - Caixa Postal 3037 - Lavras, MG - 37200-000 - E-mail: [sergiohgsilva@gmail.com](mailto:sergiohgsilva@gmail.com)

leiros, concentram-se nas frações mais grosseiras (areia e silte). Estudando solos do Rio Grande do Sul, Melo *et al.* (1995) observaram que os minerais primários constituem a principal reserva mineral destes solos. Os solos originados de granito apresentaram minerais primários contendo maiores reservas de cálcio (Ca), magnésio (Mg) e potássio (K), enquanto os solos desenvolvidos de rochas sedimentares apresentaram menores reservas destes nutrientes.

Os minerais secundários originam-se por alteração da estrutura de minerais primários ou por síntese de produtos resultantes do intemperismo e são os constituintes principais da fração argila dos solos. A fração argila é mais estável à intemperização e não é, na sua constituição, rica em nutrientes, apenas retém cátions e ânions em sua superfície (RESENDE *et al.*, 2007). A presença marcante de minerais 1:1 (caulinita) e de óxidos (termo inclusivo para óxidos, oxihidróxidos e hidróxidos, neste contexto incluindo hematita, goethita e gibbsita) na fração argila indica solos mais intemperizados, lixiviados e, geralmente, com baixos teores de nutrientes. Solos com maior proporção de minerais 2:1 (mica, esmectita e vermiculita, entre outros) são considerados mais jovens e geralmente apresentam maior capacidade de suprir nutrientes às plantas. As micas são os minerais contendo K mais comuns nos solos (KÄMPF e CURI, 2003).

O Ca presente no solo é originário da alteração de minerais primários como dolomita, calcita, apatita, feldspatos cálcicos e anfíbólios. Já o Mg tem sua origem na intemperização de dolomita, biotita, clorita, serpentina e olivina. Ao contrário do Ca, o Mg pode fazer parte da estrutura de minerais secundários como ilita, vermiculita e esmectita. Nos solos de regiões com elevada precipitação, o Ca e o Mg ocorrem principalmente na forma trocável, sendo fracamente retidos nas cargas negativas das argilas silicatadas e da matéria orgânica, ou disponíveis na solução do solo. O K do solo é comumente classificado em K total, K na solução do solo, K trocável e K não-trocável. Esse último corresponde ao K retido na estrutura de minerais como os feldspatos potássicos, micas ou nas entrecamadas de argilominerais expansivos como a vermiculita e a esmectita (RAIJ, 1991; SPARKS, 2000). Segundo Mielniczuk (1982), com a exaustão das formas disponíveis (K na solução + K trocável), o K não-trocável, que representa a reserva de longo prazo, é lentamente liberado para o solo, podendo, então, ser absorvido pelas plantas.

As exigências nutricionais do eucalipto são reduzidas em comparação a outras culturas, além de apresentar alta tolerância à toxidez de alumínio (NOVAIS *et al.*, 1990). Assim, a aplicação de calcário tem como finalidade principal o suprimento de Ca e Mg. Já o K tem se mostrado um dos nutrientes mais limitantes ao crescimento do eucalipto (SILVEIRA *et al.*, 2001), sendo mais requerido com o aumento da idade da planta, uma vez que há depleção do nutriente no solo com o crescimento da floresta (NOVAIS *et al.*, 1986). Os teores e a distribuição dos nutrientes no solo variam durante os ciclos de crescimento das espécies florestais (NOVAIS *et al.*, 1986), o que reforça a importância do estudo da reserva e liberação de nutrientes nos diferentes tipos de solos utilizados para silvicultura.

Em função do exposto, os objetivos deste trabalho foram caracterizar química e mineralogicamente amostras de solos de hortos florestais no Rio Grande do Sul e avaliar a reserva e a disponibilidade de nutrientes, e a produtividade do eucalipto nestes diferentes ambientes de solos subtropicais brasileiros.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no estado do Rio Grande do Sul em hortos florestais localizados nos municípios de Guaíba, Butiá, Arroio dos Ratos, Minas do Leão, São Jerônimo, Barra do Ribeiro e Tapes. Estes hortos estão plantados com *Eucalyptus saligna*, *E. grandis* e *E. globulus*. A área de estudo está localizada ao longo da BR-290 até Minas do Leão e da rodovia BR-116 até a entrada de Tapes. De acordo com a classificação de Köppen, o clima predominante na região é do tipo Cfa, subtropical úmido e a precipitação média anual é de, aproximadamente, 1.500mm (Lemos *et al.*, 1973). As chuvas ocorrem bem distribuídas durante todos os meses do ano, sendo que a amplitude de variação entre os meses de máxima e mínima precipitação não chega a ser significativa para caracterizar o clima como tendo um período chuvoso e outro seco.

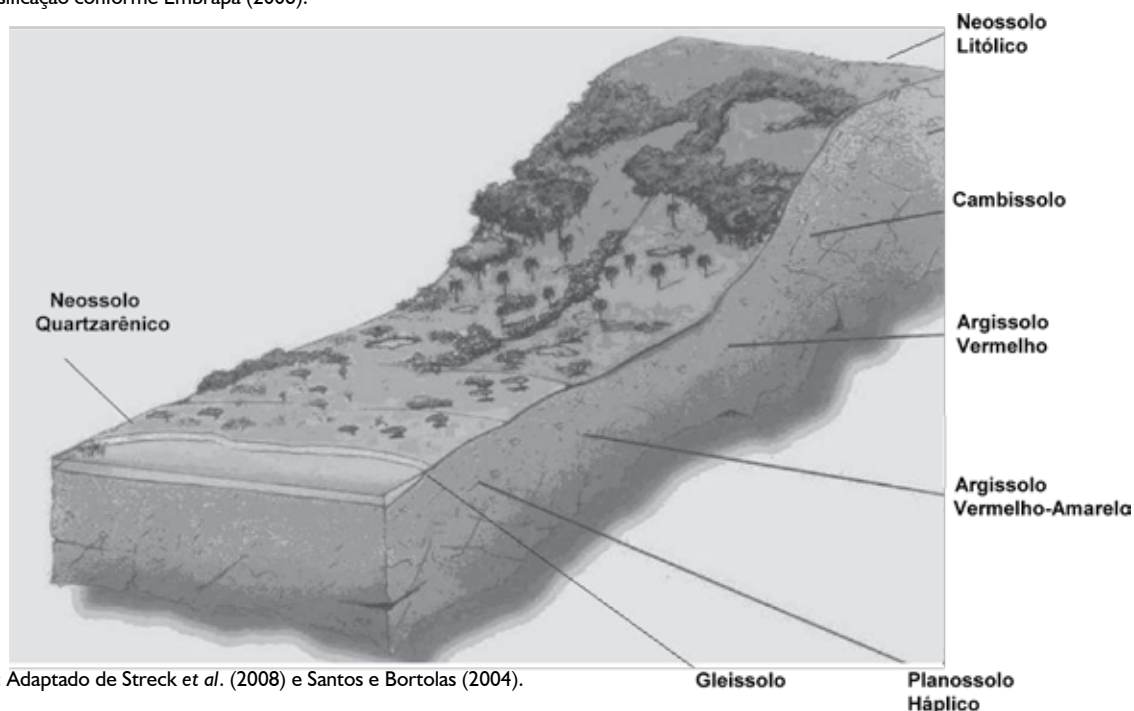
O material de origem dominante e a classificação dos principais solos nos onze hortos florestais estudados são descritos na Tabela 1. As principais classes de solo encontradas são: Neossolo Quartzarênico, Gleissolo Melânico, Planossolo Háplico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo Vermelho, Cambissolo Háplico e Neossolo Litólico (SANTOS; BORTOLAS, 2004), com amplo domínio dos Argissolos. A distribuição destes solos na paisagem da região estudada encontra-se na Figura 1.

**Tabela 1.** Material de origem dominante e classificação dos principais solos dos hortos florestais estudados<sup>1/</sup>.

**Table 1.** Dominant parent material and soil classification of the studied forest sites.

Horto florestal	Material de origem	Classificação atual dos solos	Simbologia
Barba Negra	Sedimentos arenosos	Neossolo Quartzarênico órtico típico	RQo
Barba Negra	Sedimentos orgânicos e areno-argilosos	Gleissolo Melânico distrófico típico	GMd
Barba Negra	Sedimentos areno-argilosos	Planossolo Háplico distrófico arênico	SXd
Camélia	Sedimentos areno-argilosos e granitos	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico típico	PVAd
Jung	Sedimentos arenosos e argilosos	Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico arênico	PVAd
Cambará	Granitos	Argissolo Vermelho distrófico latossólico	PVd
Terra Dura	Ortognaisses	Argissolo Vermelho distrófico típico	PVd
Santa Rosa	Granitos	Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico	CXvd
Pilar	Argilitos	Argissolo Vermelho distrófico típico	PVd
São Vicente	Argilitos	Neossolo Litólico distrófico típico	RLd
Minas do Leão	Sedimentos areno-argilosos	Planossolo Háplico distrófico típico	SXd
Bom Retiro	Granitos	Argissolo Vermelho distrófico típico	PVd
Água Boa	Argilitos	Cambissolo Háplico Ta distrófico léptico	CXvd

<sup>1/</sup> Classificação conforme Embrapa (2006).



Fonte: Adaptado de Streck *et al.* (2008) e Santos e Bortolas (2004).

**Figura 1.** Seqüência idealizada de solos na paisagem no caminhamento litoral-interior.

**Figure 1.** Idealized soil sequence in the landscape from shore to interior.

A coleta das amostras foi realizada conforme procedimentos normatizados por Santos *et al.* (2005), a partir das informações do relatório e mapa de solos conforme Santos e Bortolas (2004). Análises químicas e mineralógicas foram realizadas com o objetivo de relacioná-las com a reserva e a disponibilidade de Ca, Mg e K para o eucalipto e sua produtividade. Na fração de solo <2mm, os teores de Ca e Mg trocáveis foram determinados por complexometria (EDTA) após extração com KCl 1 mol/L, enquanto o K disponível foi quantificado com uso do extrator Mehlich-1 e fotometria de chama (EMBRAPA, 1997). Para a extração de formas de Ca, Mg e K, consideradas como índices de teores "totais" desses nutrientes, submetem-se as amostras de solo ao ataque do ácido sulfúrico, densidade 1,84, diluído na proporção 1:1 (EMBRAPA, 1997).

Após a separação granulométrica (EMBRAPA, 1997), com base na metodologia preconizada por Jackson (1979), as amostras foram submetidas à difração de raios-X, sendo as frações areia e silte analisadas pelo método do pó e a fração argila por meio de lâminas orientadas, na velocidade de 0,01°2θ/s, no intervalo de 4 a 40 °2θ, utilizando-se radiação de CoKα, com filtro de ferro. A semi-quantificação dos teores dos minerais nas frações granulométricas foi realizada com base nas áreas dos reflexos correspondentes nos difratogramas de raios-X. A interpretação da mineralogia destas frações foi feita levando-se em conta a sua relação com a reserva e a disponibilidade de nutrientes para o eucalipto e sua produtividade, subsidiada pela geologia, relevo, clima e drenagem dos diversos ambientes de solos nos hortos florestais, descritas com maior detalhamento em Castro (2006).

Foram utilizados valores de incremento médio anual (IMA) do eucalipto para relacionar a química, mineralogia, reserva e disponibilidade de nutrientes, produtividade florestal e tipo de solo dos hortos estudados. Para a determinação do IMA, nas parcelas permanentes mediu-se a circunferência à altura do peito (CAP) de todos os indivíduos vivos e a altura nas duas fileiras centrais das parcelas, além da altura das árvores dominantes. Para as estimativas volumétricas das parcelas foram ajustadas relações hipsométricas através do polinômio de potências fracionárias (HRADETZKY, 1976).

Para análise da influência dos macronutrientes, bem como da mineralogia das frações areia, silte e argila no comportamento do IMA de 7 anos, regressões múltiplas foram desenvolvidas. Com base nestas, buscou-se verificar a significância das variáveis de entrada bem como gerar um modelo linear múltiplo para prever o comportamento do IMA. Para tanto, foram testados, num primeiro momento, apenas os elementos oriundos da análise química, notadamente cálcio, magnésio e potássio "totais", cálcio e magnésio trocáveis e potássio disponível, estruturando-se, no Programa SAS for Windows (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM, 1989), variáveis individuais e combinações das mesmas, aplicando o procedimento Backward (FERREIRA, 2008). Este procedimento seleciona as variáveis significativas a um determinado nível de probabilidade (neste caso, a referência adotada foi 5%) pelo teste T de Student, eliminando aquelas que não são significativas e não proporcionam melhoria do coeficiente de determinação. Além disto, o modelo final de regressão é também testado pelo Teste F, chegando-se a um coeficiente de determinação corrigido final, validando a regressão assim obtida em termos de significância estatística e graus de liberdade do modelo. Procedimento idêntico foi adotado para a regressão envolvendo a mineralogia e a análise química. No caso da mineralogia foram considerados os teores médios no perfil do solo e separados nas frações areia, silte e argila apenas os minerais potencialmente fornecedores de nutrientes (feldspato, mica, esmectita e vermiculita), pois quartzo, ilmenita, anatásio, cristobalita, hematita, caulinita e gibbsita (Tabela 3), não possuem reserva de nutrientes para o eucalipto. Além das regressões acima, foi aplicado o teste de Tukey para comparação dos valores médios de IMA, ao nível de significância de 5%, conforme Ferreira (2005).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando-se os solos estudados e sua posição na paisagem (Figura 1), pode-se dividi-los em quatro conjuntos: solos muito arenosos (Neossolos Quartzarênicos); solos com problemas de drenagem (Gleissolos e Planossolos Háplicos); solos jovens e muito jovens, bem drenados (Cambissolos e Neossolos Litólicos); e solos maduros, com horizonte B textural, bem drenados (Argissolos Vermelhos e Argissolos Vermelho-Amarelos). Esta abordagem reflete os diferentes ambientes de solos subtropicais que ocorrem nestas regiões do Rio Grande do Sul (BRASIL, 1973; STRECK *et al.*, 2008).

Os teores "totais" e trocáveis de Ca e Mg e "totais" e disponíveis de K nos solos são apresentados na Tabela 2. A composição mineralógica das frações areia, silte e argila encontra-se separada por hortos florestais e respectivos solos (Tabela 3).

No Neossolo Quartzarênico (RQo), estes teores foram os menores entre todos os solos estudados, em consonância com a pobreza geral dos sedimentos muito arenosos que lhe deram origem (Tabela 1), o que é consubstanciado pela sua mineralogia essencialmente quartzítica, com pouquíssima caulinita (Tabela 3), o que está de acordo com os dados de Tokura *et al.* (2007), em estudo com o mesmo tipo de solo na zona fisiográfica Campos das Vertentes (MG). Trata-se de um sistema pedológico praticamente inerte, em que a reserva e a disponibilidade desses nutrientes depende primordialmente da presença de matéria orgânica no solo e das adubações corretiva e de manutenção.

Nos solos com problemas de drenagem, Gleissolos e Planossolos Háplicos (GM1, SXd2 e SXd3), há variações nos teores de nutrientes ao longo dos perfis (Tabela 2) devido à diferenças na natureza dos sedimentos que os formaram (RESENDE *et al.*, 2005a). Nestes solos observaram-se maiores valores "totais" e trocáveis de Ca e Mg nos horizontes subsuperficiais. É interessante notar que os solos SXd2 e SXd3 apresentaram os maiores valores de Ca extraídos pelo ataque com ácido sulfúrico entre todos os solos, revelando uma maior reserva desse nutriente para o eucalipto. Os feldspatos identificados nas frações areia e silte desses solos (Tabela 3), particularmente no SXd3, estariam ligados a essa maior reserva. No caso do Mg, face à ausência de minerais fontes do nutriente nesses solos (Tabela 3), provavelmente a utilização de calagem e uma possível movimentação do Mg para as camadas subsuperficiais (facilitada pela textura mais arenosa na superfície) poderiam justificar o comportamento deste nutriente.

**Tabela 2.** Teores "totais"<sup>1/</sup> de cálcio, magnésio e potássio, trocáveis<sup>2/</sup> de Ca e Mg e disponíveis<sup>3/</sup> potássio nos solos estudados.

**Table 2.** Total, exchangeable and available contents of calcium, magnesium, and potassium in the studied soils.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cálcio		Magnésio		Potássio	
		"Total"	Trocável	"Total"	Trocável	"Total"	Disponível
mg/dm <sup>3</sup>							
<b>Horto Barba Negra - Solo RQo</b>							
A1	0-22	89	18	179	15	59	19
C1	22-66	81	6	134	5	47	2
C2	66-110	114	5	134	4	47	2
C3	110-130	114	4	119	4	35	2
C4	130-160	41	7	92	4	35	2
<b>Horto Barba Negra - Solo GM1</b>							
A	0-45	1.138	80	2.315	24	1.298	31
Cg	45-60	976	80	1.389	24	637	17
2C1	60-115	1.301	120	4.092	288	2.951	43
3C2	115-142	1.301	120	3.122	288	1.770	33
<b>Horto Barba Negra - Solo SXd2</b>							
A1	0-12	5.691	540	1.755	156	826	151
A2	12-35	1.951	160	1.523	24	626	41
E	35-66	3.740	360	1.210	144	519	65
Btg	66-114	8.943	860	5.414	408	1.888	55
Bt	114-150	10.569	1.000	5.116	432	2.006	50
<b>Horto Minas do Leão - Solo SXd3</b>							
Ap1	0-10	34.959	2.080	4.212	192	1.888	239
A2	10-35	4.878	260	6.423	180	2.360	122
E	35-54	21.951	500	10.754	228	2.951	153
Btg	54-73	24.390	2.000	17.476	312	6.137	220
Cg1	73-115	40.650	2.440	13.966	276	5.193	182
Cg2	115-167	6.812	2.600	23.674	1.440	9.560	112
<b>Horto São Vicente - Solo RLd3</b>							
A1	0-10	732	160	6.049	24	9442	196
A2	10-30	406	140	8.327	24	14.871	69
B/BC	30-60	162	140	8.962	24	19.356	26
BC/B	60-80	162	80	8.327	12	17.939	22
<b>Horto Água Boa - Solo CXvd4</b>							
Ap1	0-14	6.504	500	3.465	180	4.249	230
A2	14-30	1.626	220	4.391	108	6.491	330
AB	30-41	1.463	200	8.700	60	11.212	220
Bi1	41-54	1.057	220	10.717	108	14.635	189
Bi2	54-70	1.057	260	14.675	204	14.871	131
BC	70-95	813	260	12.808	216	15.107	194
C	95-130	1.951	440	16.057	432	11.448	134
<b>Horto Santa Rosa - Solo CXvd1</b>							
A1	0-18	1.301	160	2.166	24	2.833	...
A2	18-47	976	100	2.726	24	4.603	108
AB	45-55	650	80	6.385	24	8.734	167
Bi	55-100	406	200	10.381	120	14.871	230
BC	100-140	813	160	7.468	24	12.510	96
<b>Horto Terra Dura - Solo PVd1</b>							
A1	0-20	4.390	440	2.487	96	2.478	139
A2	20-25	1.463	180	3.853	108	4.839	213
Bt1	25-63	488	200	7.767	120	8.380	220
Bt2	63-94	650	240	7.356	144	7.317	165
BC1	94-117	488	260	7.692	252	9.088	93
BC2	117-154	406	240	8.178	264	8.734	62

<sup>1/</sup> Extração com ataque sulfúrico 1:1.

<sup>2/</sup> Extração com KCl 1 mol/L.

<sup>3/</sup> Extração com Mehlich-I.

**Tabela 2 - Continuação.** Teores “totais”<sup>1/</sup> de cálcio, magnésio e potássio, trocáveis<sup>2/</sup> de Ca e Mg e disponíveis<sup>3/</sup> potássio nos solos estudados.

**Table 2 - Continuation.** Total, exchangeable and available contents of calcium, magnesium, and potassium in the studied soils.

Horizonte	Profundidade (cm)	Cálcio		Magnésio		Potássio	
		“Total”	Trocável	“Total”	Trocável	“Total”	Disponível
<b>Horto Pilar - Solo PVd4</b>							
AB	6-20	569	180	5.937	156	6.491	191
BA	20-31	406	200	6.684	120	8.262	213
Bt1	31-79	244	160	8.178	72	9.088	33
Bt2	79-112	244	180	7.842	48	11.684	26
BC	112-153	162	160	6.796	24	13.455	24
C	153-170	162	80	5.048	12	12.982	26
<b>Horto Bom Retiro - Solo PVd1</b>							
Ap1	0-18	3.252	280	3.025	72	1.180	62
A2	18-49	1.301	160	2.942	24	1.888	29
AB	49-81	894	160	3.166	24	2.478	48
BA	81-100	894	160	4.496	84	3.541	77
Bt1	100-141	406	240	7.879	216	4.957	45
<b>Horto Cambará - Solo PVd3</b>							
A	0-16	2.504	260	4.809	324	4.694	158
AB	16-28	1.935	240	4.787	216	5.263	55
Bt1	28-47	1.366	240	5.145	96	5.405	41
Bt2	47-76	1.138	160	6.086	204	6.827	38
Bt3	76-88	683	160	6.609	96	6.685	38
BC	88-120	569	140	5.489	96	5.547	31
C	120-160	569	140	4.406	96	4.978	26
<b>Horto Jung - Solo PVA4</b>							
Ap1	0-9	1.5447	1.240	2.046	168	685	151
A2	9-39	2358	220	2.382	108	838	26
E1	39-89	1463	140	2.554	72	921	22
Bt1	107-137	976	140	6.273	192	1.888	33
<b>Horto Camélia - PVA2</b>							
A1	0-21	2.602	240	3.204	156	2.715	134
A2	21-33	1.382	160	3.361	168	2.833	72
AB	33-51	1.219	160	4.302	144	3.541	38
BA	51-76	1.057	320	7.020	288	5.783	38
Bt1	76-115	1.057	320	7.767	288	5.311	41
Bt2	115-167	813	360	7.393	264	5.311	41
Bt3	167-180	976	300	6.759	420	5.193	38

<sup>1/</sup> Extração com ataque sulfúrico 1:1.

<sup>2/</sup> Extração com KCl 1 mol/L.

<sup>3/</sup> Extração com Mehlich-I.

**Tabela 3.** Caracterização mineralógica das frações areia, silte e argila dos solos estudados.

**Table 3.** Mineral characterization of the sand, silt and clay fractions of the studied soils.

Horizonte	Profundidade (cm)	Minerais nas frações granulométricas <sup>1/ e 2/</sup>		
		Areia	Silte	Argila
<b>Horto Barba Negra - Solo RQo</b>				
A1	0-22	Qz(95), IL(5)	Qz(100)	Ct(5), Qz(95)
C1	22-66	Qz(95), IL(5)	Qz(100)	-
C2	66-110	Qz(95), IL(5)	-	-
C3	110-130	Qz(95), IL(5)	-	-
C4	130-160	Qz(95), IL(5)	-	-

<sup>1/</sup> Qz = quartzo; IL = ilmenita; Ct = caulinita; Fp = feldspato; An = anatásio; Gb = gibbsita; Cb = cristobalita; Mi = mica; Hm = hematita; Em = esmectita; Vm = vermiculita.

<sup>2/</sup> Números entre parênteses correspondem ao teor semi-quantificado do mineral na fração granulométrica.

**Tabela 3 - Continuação.** Caracterização mineralógica das frações areia, silte e argila dos solos estudados.  
**Table 3 - Continuation.** Mineral characterization of the sand, silt and clay fractions of the studied soils.

Horizonte	Profundidade (cm)	Minerais nas frações granulométricas <sup>1/ e 2/</sup>		
		Areia	Silte	Argila
<b>Horto Barba Negra - Solo GM1</b>				
A	0-45	Qz(95), IL(5)	Qz(95), Fp(5)	Ct(95), Qz(5)
Cg	45-60	Qz(95), IL(5)	Qz(95), Fp(5)	Ct(90), Qz(10)
2C1	60-115	Qz(100)	Qz(95), Fp(5)	Ct(80), Qz(15), Gb(5)
3C2	115-142	Qz(100)	Qz(90), Fp(5), An(5)	Ct(80), Qz(15), Gb(5)
<b>Horto Barba Negra - Solo SXd2</b>				
A1	0-12	Qz(95), IL(5)	Qz(90), Cb(5), Fp(5)	Ct(80), Qz(20)
A2	12-35	Qz(95), IL(5)	Qz(90), Cb(5), Fp(5)	Ct(80), Qz(20)
E	35-66	Qz(95), IL(5)	Qz(85), Cb(5), Fp(5), IL(5)	Ct(80), Qz(20)
Btg	66-114	Qz(90), IL(5), Fp(5)	Qz(85), Cb(5), Fp(5), IL(5)	Ct(90), Qz(10)
Bt	114-150	Qz(90), IL(5), Fp(5)	Qz(85), Cb(5), Fp(5), IL(5)	Ct(90), Qz(10)
<b>Horto Minas do Leão - Solo SXd3</b>				
Ap1	0-10	Qz(90), Fp(10)	Qz(85), Fp(10), IL(5)	Ct(75), Gb(5), Qz(20)
A2	10-35	Qz(95), Fp(5)	Qz(95), Fp(5)	Ct(75), Gb(5), Qz(20)
E	35-54	Qz(90), An(5), Fp(5)	Qz(90), Fp(10)	Ct(80), Gb(5), Qz(15)
Btg	54-73	Qz(100)	Qz(90), Fp(10)	Ct(85), Gb(5), Qz(10)
Cg1	73-115	Qz(95), Fp(5)	Qz(85), Fp(10), IL(5)	Ct(85), Gb(5), Qz(10)
Cg2	115-167	Qz(95), Fp(5)	Qz(80), Fp(15), IL(5)	Ct(85), Gb(5), Qz(10)
<b>Horto São Vicente - Solo RLd3</b>				
A1	0-10	Qz(100)	Ct(5), Qz(90), Fp(5)	Mi(15), Ct(85)
A2	10-30	Qz(100)	Ct(5), Qz(90), Fp(5)	Mi(10), Ct(85), Fp(5)
B/BC	30-60	Ct(5), Qz(90), Fp(5)	Ct(60), Qz(40)	Mi(5), Ct(95)
BC/B	60-80	Ct(10), Qz(85), Fp(5)	Ct(60), Qz(40)	Mi(5), Ct(95)
<b>Horto Água Boa - Solo CXvd4</b>				
Ap1	0-14	Qz(80), An(5), Fp(10), Cb(5)	Qz(80), Fp(10), IL(5), An(5)	Mi(35), Ct(60), Fp(5)
A2	14-30	Mi(5), Qz(70), An(5), Fp(10), Hm(5), Cb(5)	Qz(80), Fp(10), IL(5), An(5)	Mi(40), Ct(60)
AB	30-41	Mi(5), Qz(70), An(5), Fp(10), IL(5), Hm(5)	Qz(80), Fp(10), IL(5), An(5)	Mi(35), Ct(60), Fp(5)
Bi1	41-54	Qz(85), An(5), Fp(10)	Qz(85), Fp(5), IL(5), An(5)	Mi(35), Ct(60), Fp(5)
Bi2	54-70	Qz(80), An(5), Fp(15)	Qz(80), Fp(5), IL(5), An(5), Ct(5)	Mi(20), Ct(75), Fp(5)
BC	70-95	Qz(75), An(5), Fp(20)	Qz(85), Fp(5), An(5), Ct(5)	Mi(30), Ct(65), Fp(5)
C	95-130	Mi(5), Qz(80), IL(5), An(5), Fp(5)	Qz(85), Fp(5), An(5), Ct(5)	Mi(15), Ct(70), Fp(5), Em(5), Vm(5)
<b>Horto Santa Rosa - Solo CXvd1</b>				
A1	0-18	Qz(90), IL(5), Fp(5)	Qz(95), Fp(5)	Mi(25), Ct(70), Fp(5)
A2	18-47	Qz(90), IL(5), Fp(5)	Qz(85), IL(5), Fp(5), Ct(5)	Mi(25), Ct(70), Fp(5)
AB	45-55	Qz(85), IL(5), Fp(5), An(5)	Qz(85), IL(5), Fp(5), Ct(5)	Mi(15), Ct(80), Fp(5)
Bi	55-100	Qz(85), IL(5), Fp(5), An(5)	Qz(80), IL(5), Fp(10), Ct(5)	Mi(10), Ct(90)
BC	100-140	Qz(85), IL(5), Fp(5), An(5)	Qz(75), IL(5), Fp(15), Ct(5)	Mi(5), Ct(95)
<b>Horto Terra Dura - Solo PVd1</b>				
A1	0-20	Qz(95), Fp(5)	Qz(85), Hm(5), An(5), Fp(5)	Mi(20), Ct(60), Qz(20)
A2	20-25	Qz(80), IL(5), Fp(15)	Qz(90), An(5), Fp(5)	Mi(10), Ct(80), Qz(10)
Bt1	25-63	Qz(100)	Qz(85), Hm(5), An(5), Fp(5)	Mi(5), Ct(90), Qz(5)
Bt2	63-94	Qz(95), Cb(5)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Mi(5), Ct(90), Qz(5)
BC1	94-117	Qz(100)	Qz(95), Fp(5)	Mi(5), Ct(90), Qz(5)
BC2	117-154	Qz(95), Fp(5)	Qz(95), Fp(5)	Mi(5), Ct(90), Qz(5)
<b>Horto Pilar - Solo PVd4</b>				
AB	6-20	Qz(100)	Qz(95), Fp(5)	Ct(90), Gb(5), Qz(5)
BA	20-31	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Ct(90), Gb(5), Qz(5)
Bt1	31-79	Qz(95), Hm(5)	Ct(5), Qz(90), An(5)	Ct(90), Gb(5), Qz(5)
Bt2	79-112	Qz(95), Ct(5)	Ct(5), Qz(90), An(5)	Ct(90), Gb(5), Qz(5)
BC	112-153	Qz(85), Mi(5), Fp(5), Ct(5)	Ct(5), Qz(80), Fp(5), An(10)	Ct(90), Gb(5), Qz(5)
C	153-170	Qz(85), Mi(5), Fp(5), Ct(5)	Ct(5), Qz(80), Fp(5), An(10)	Ct(90), Gb(5), Qz(5)

<sup>1/</sup> Qz = quartzo; IL = ilmenita; Ct = caulinita; Fp = feldspato; An = anatásio; Gb = gibbsita; Cb = cristobalita; Mi = mica; Hm = hematita; Em = esmectita; Vm = vermiculita.

<sup>2/</sup> Números entre parênteses correspondem ao teor semi-quantificado do mineral na fração granulométrica.

**Tabela 3 - Continuação.** Caracterização mineralógica das frações areia, silte e argila dos solos estudados.  
**Table 3 - Continuation.** Mineral characterization of the sand, silt and clay fractions of the studied soils.

Horizonte	Profundidade (cm)	Minerais nas frações granulométricas <sup>1/e 2/</sup>		
		Areia	Silte	Argila
<b>Horto Bom Retiro - Solo PVD1</b>				
Ap1	0-18	Qz(100)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Ct(60), Mi(20), Qz(20)
A2	18-49	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Qz(85), Hm(5), Fp(5), IL(5)	Ct(60), Mi(20), Qz(20)
AB	49-81	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Qz(85), Hm(5), An(5), Fp(5)	Ct(70), Mi(15), Qz(15)
BA	81-100	Qz(95), Hm(5)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Ct(80), Mi(10), Qz(10)
Bt1	100-141	Qz(95), Hm(5)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Ct(30), Mi(35), Qz(35)
<b>Horto Cambará - Solo PVD3</b>				
A	0-16	Qz(95), Hm(5)	Qz(95), Hm(5)	Ct(90), Qz(10)
AB	16-28	Qz(95), Fp(5)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Ct(95), Qz(5)
Bt1	28-47	Qz(100)	Qz(90), Cb(5), Hm(5)	Ct(95), Qz(5)
Bt2	47-76	Qz(100)	Qz(95), Hm(5)	Ct(95), Qz(5)
Bt3	76-88	Qz(100)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Ct(95), Qz(5)
BC	88-120	Qz(100)	Qz(95), Hm(5)	Ct(95), Qz(5)
C	120-160	Qz(100)	Qz(95), Hm(5)	Ct(95), Qz(5)
<b>Horto Jung - Solo PVA4</b>				
Ap1	0-9	Qz(95), Hm(5)	Qz(100)	Ct(75), Qz(25)
A2	9-39	Qz(95), Hm(5)	Qz(95), Hm(5)	Ct(80), Qz(20)
E1	39-89	Qz(95), Hm(5)	Qz(95), Hm(5)	Ct(75), Qz(20), Gb(5)
Bt1	107-137	Qz(95), Hm(5)	Qz(90), Fp(5), Hm(5)	Ct(90), Qz(5), Gb(5)
<b>Horto Camélia - Solo PVA2</b>				
A1	0-21	Qz(90), Fp(5), Hm(5)	Qz(85), Cb(5), Fp(5), Hm(5)	Ct(85), Qz(15)
A2	21-33	Qz(90), Fp(5), Hm(5)	Qz(95), Hm(5)	Ct(85), Qz(10), Gb(5)
AB	33-51	Qz(95), Hm(5)	Qz(95), Hm(5)	Ct(90), Qz(5), Gb(5)
BA	51-76	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Qz(90), Hm(5), An(5)	Ct(95), Qz(5)
Bt1	76-115	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Qz(90), Hm(5), Fp(5)	Ct(95), Qz(5)
Bt2	115-167	Qz(95), Hm(5)	Qz(85), Hm(5), Fp(5), Cb(5)	Ct(95), Qz(5)
Bt3	167-180	Qz(95), Hm(5)	Qz(85), Hm(5), Fp(5), Cb(5)	Ct(90), Qz(10)

<sup>1/</sup> Qz = quartzo; IL = ilmenita; Ct = caulinita; Fp = feldspato; An = anatásio; Gb = gibbsita; Cb = cristobalita; Mi = mica; Hm = hematita; Em = esmectita; Vm = vermiculita.

<sup>2/</sup> Números entre parênteses correspondem ao teor semi-quantificado do mineral na fração granulométrica.

Os solos hidromórficos SXd2 e SXd3 tenderam a apresentar maior concentração de K disponível no horizonte superficial (Tabela 2), fato que pode estar associado à grande facilidade de ciclagem deste nutriente (RESENDE *et al.*, 1988; CURI *et al.*, 2005). Já os teores de K extraídos pelo ácido sulfúrico tenderam a aumentar em subsuperfície, provavelmente em função da natureza mais rica em K dos sedimentos mais profundos, indicando a heterogeneidade da fonte supridora e a pouca influência da pedogênese "in situ" sobre estes materiais (UFV, 1979).

Nos solos jovens e muito jovens, bem drenados, Cambissolos e Neossolos Litólicos (CXvd1, CXvd4 e Rld3), os teores "totais" de Ca foram mais elevados no horizonte superficial (Tabela 2), provavelmente devido à erosão natural, expondo novo material, com potencial para liberação do nutriente (CURI *et al.*, 1984). No solo Rld3 os maiores valores de Mg trocável foram verificados nos horizontes mais superficiais, ao passo que os valores extraídos pelo ácido sulfúrico foram mais elevados nos horizontes mais

profundos. Já nos solos CXvd1 e CXvd4 observou-se uma tendência de acúmulo de Mg nos horizontes mais profundos, sendo que a presença de esmectita e vermiculita na fração argila do horizonte C do solo CXvd4 (Tabela 3) explica os maiores valores "totais" e trocáveis de Ca e Mg nesse horizonte em relação a outros horizontes do perfil (Tabela 2) e encontra respaldo nos processos pedogenéticos que apontam para um menor grau de intemperismo – lixiviação nesta profundidade (BUOL *et al.*, 2003).

Foi observado um aumento, em profundidade, do K "total" nos Cambissolos e Neossolos Litólicos (Tabela 2). Esse fato pode ser explicado pelo menor grau de intemperismo-lixiviação dos horizontes inferiores. Nos solos CXvd4 e Rld3, os teores disponíveis do nutriente são mais elevados nos horizontes superficiais. Este acúmulo de K disponível nos horizontes superficiais se dá, provavelmente, devido à grande facilidade e rapidez de ciclagem do nutriente em solos com cobertura vegetal adequada, em concordância com as informações de Resende *et al.* (1988),



originando um estoque dinâmico do nutriente na profundidade de maior atividade biológica.

De modo geral, os Argissolos (PVD1, PVD3, PVA4 e PVA2), solos de textura média/argilosa, revelaram, como tendência, maiores teores de Ca ("total" e trocável) nas camadas mais superficiais (Tabela 2). Os maiores teores "totais" de Mg e de K foram registrados nos Argissolos Vermelhos (PVs), em comparação aos Argissolos Vermelho-Amarelos (PVAs), em função dos maiores teores de mica dos primeiros (Tabela 3), reflexo do material de origem mais rico (Tabela 1), segundo Resende *et al.* (1988).

O Neossolo Quartzarênico revela uma mineralogia muito simples, constituída principalmente pelo quartzo, além de ilmenita e caulinita. Esta composição mineralógica, de reserva nutricional praticamente nula (Tabela 2), está relacionada à ocorrência de sedimentos arenosos pobres como materiais de origem (RESENDE *et al.*, 1988) (Tabela 1). Estes resultados estão consonantes com aqueles encontrados por Melo *et al.* (1995).

Os solos com problemas de drenagem (Gleissolos e Planossolos Háplicos) apresentam baixos teores de feldspatos na fração silte dos solos GM1 e SXd2 e nas frações silte e areia do solo SXd3 (Tabela 3), condicionando alguma reserva em Ca, Mg e K (Tabela 3). No solo SXd3 essa reserva é um pouco maior, sobretudo no tocante ao Ca. Nos solos GM1 e SXd3, observou-se a presença de gibbsita na fração argila (Tabela 2) em baixas concentrações, que deve ter sido formada "in situ", devido ao ambiente mal drenado e com pH relativamente mais elevado, favorecendo a remoção de sílica e a conseqüente formação de gibbsita, conforme relatado por Motta e Kämpf (1992). A gibbsita não implica em reserva de nutrientes para o eucalipto, mas possibilita a retenção de ânions em sua superfície (RESENDE *et al.*, 2007; POZZA *et al.*, 2007; POZZA *et al.*, 2009).

Nos Neossolos Litólicos e Cambissolos, feldspatos foram identificados em todas as frações e micas foram identificadas na fração argila (Tabela 3), sendo encontradas em maior quantidade no solo CXvd4. A presença de minerais micáceos nestes solos mais jovens e bem drenados, derivados de granitos e argilitos (Tabela 1), tem sido comumente reportada na literatura (LACERDA *et al.*, 2001). Além disso, esmectita e vermiculita também estão presentes na fração argila do horizonte C desse solo.

Os feldspatos potássicos são mais resistentes ao intemperismo que os feldspatos cálcicos (CURI *et al.*, 2005). O K presente nos feldspatos

não é prontamente disponível para as plantas de eucalipto e sua liberação requer a prévia dissolução do mineral. Em solos pouco intemperizados-lixiviados, como os Neossolos Litólicos e os Cambissolos, essa liberação de K pelos feldspatos é capaz de contribuir para o suprimento do nutriente ao eucalipto durante alguns ciclos. O mesmo raciocínio se aplica ao Ca, ressaltando-se a possibilidade de sua liberação mais rápida em relação ao K, em condições equiparáveis.

Os Argissolos representam o grupamento de solos de maior expressão geográfica neste trabalho como também no Rio Grande do Sul (STRECK *et al.*, 2008). Mineralogicamente podem ser divididos em dois conjuntos: Argissolos Vermelhos e Vermelho-Amarelos. De forma geral, os Argissolos Vermelhos possuem, na sua composição mineralógica, maiores teores de micas que os Vermelho-Amarelos. Nos Argissolos Vermelhos dos hortos Terra Dura e Bom Retiro, foram observadas micas na fração argila de todos os horizontes (Tabela 3). No solo PVD4, as micas ocorrem na fração areia. O solo PVD3 foi o único deste grupo onde não detectou-se sua presença. Com o intemperismo, ocorre a liberação de K e Mg das micas, caracterizando, assim, uma reserva desses nutrientes para o eucalipto, com disponibilização ao longo do tempo. Dentre as micas, a biotita é mais suscetível à alteração e conseqüente liberação de K e Mg, enquanto a muscovita é mais resistente (KÄMPF; CURI, 2003; CURI *et al.*, 2005).

Feldspatos estão presentes nas frações areia e silte de todos os perfis de Argissolos Vermelhos estudados. Os Argissolos Vermelho-Amarelos revelaram ausência destes minerais fontes de nutrientes (Tabela 3), excetuando-se pequenos teores de feldspatos nas frações areia e silte do PVA2 e na fração silte do PVA4. Os materiais de origem desses solos são mais pobres que os dos primeiros, confirmando a tendência ressaltada por Resende *et al.* (1988). Este fato coloca ênfase na cor do solo como indicativa de ambientes subtropicais diferenciais em termos de fertilidade do solo.

Argilominerais do tipo 1:1, como a caulinita, amplamente dominante na fração argila dos Argissolos (Tabela 3), como na maioria dos solos brasileiros (RESENDE *et al.*, 2005a), não constituem reserva mineral de K, porém podem apresentar íons K<sup>+</sup> adsorvidos na superfície externa (trocáveis), ou seja, prontamente disponíveis às plantas de eucalipto (CURI *et al.*, 2005).

Na Tabela 4 encontram-se os dados de incremento médio anual (IMA) observados nos plantios de eucalipto e o tipo de solo correspon-

dente, referentes aos diversos hortos florestais caracterizados no presente trabalho. O IMA corresponde à taxa de crescimento anual em volume de madeira, num determinado período de tempo de avaliação, sendo muito importante na atividade florestal, e é influenciado pelo diâmetro à altura do peito (DAP) e altura das árvores.

Os Argissolos, Cambissolos e Neossolos Litólicos registraram valores elevados de IMA (Tabela 4). Os Argissolos Vermelhos têm certa reserva em Ca, Mg e K e são mais profundos, favorecendo o desenvolvimento do sistema radicular das plantas de eucalipto e minimizando o eventual estresse hídrico, em razão da sua maior capacidade de armazenamento de água (RESENDE *et al.*, 2002). Os Argissolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos e Neossolos Litólicos, embora sem diferença estatística significativa nos valores do IMA em relação aos Argissolos Vermelhos, na prática são ligeiramente mais limitados do que estes, seja pela menor profundidade efetiva e maior potencial de erosão (CX e RL) (OLIVEIRA *et al.*, 2007), ou pela menor reserva em nutrientes (PVA) (RESENDE *et al.*, 1988).

Na seqüência, aparecem os solos de baixada úmida (Gleissolos e Planossolos Háplicos), que apresentam valores mais baixos de IMA, que devem-se, principalmente, aos problemas de drenagem e também à deficiência de nutrientes, particularmente no tocante aos Gleissolos, sendo que o eucalipto é reconhecidamente muito sensível à deficiência de oxigênio (CURI, 2000; COSTA *et al.*, 2009). Finalmente, aparecem os Neossolos Quartzarênicos, muito limitados em termos de produtividade devido aos muito baixos teores de matéria orgânica e de nutrientes, em adição ao grande potencial de lixiviação e de estresse hídrico para o eucalipto (FURTINI NETO *et al.*, 2004).

Estudando a produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e o tipo de solo, Menezes (2005) observou que não se pode explicar de forma precisa a variação na produtividade dos sítios florestais por meio de um ou dois atributos dos solos, pois o tipo de solo, integrado de

todos os seus atributos, pode influenciar o crescimento das plantas, principalmente as perenes, que exploram maior volume de solo. Entre os atributos edáficos relevantes para a produtividade florestal, aqueles que se relacionam com a aquisição de água e nutrientes pelas plantas ajudam a explicar a capacidade produtiva de um sítio (BARROS; COMERFORD, 2002; RESENDE *et al.*, 2005b; RIGATTO *et al.*, 2005). Nesse contexto, em regiões com pequenas variações climáticas e com alta variabilidade pedológica, como a região enfocada no presente estudo, o tipo de solo pode funcionar como adequado estratificador do potencial produtivo de sítios florestais (CARMO *et al.*, 1990; RESENDE *et al.*, 2002; FURTINI NETO *et al.*, 2004) e, nestas condições subtropicais, deveria ser incluído como critério auxiliar nos programas de adubação e correção química do solo para o eucalipto.

Na Tabela 5 estão apresentados os resultados das análises de regressão múltipla. Observa-se que as variáveis Ca e Mg "totais" foram altamente significativas pelo teste de T de Student a 1% de probabilidade, significando que as mesmas estão diretamente associadas ao comportamento do IMA. Além disto, o coeficiente de determinação da regressão pode ser considerado adequado dada à diversidade de outros fatores que afetam o IMA e os aspectos associados à genética dos clones, sendo significativo a 1% pelo teste F. As variáveis associadas ao potássio, tanto "total" quanto disponível, não mostraram-se significativas, sendo eliminadas pelo procedimento Backward, demonstrando que provavelmente o potássio não exerce influência direta nos valores do IMA nestas condições subtropicais de manejo florestal.

A análise da mineralogia, separada em suas frações areia, silte e argila, demonstra que basicamente dos minerais mais importantes em termos de nutrientes, o feldspato foi o único significativo e apenas na fração areia, onde as variáveis foram significativas pelo teste de T, assim como a regressão obtida.

**Tabela 4.** Incremento médio anual (IMA) do eucalipto de 7 anos nos diferentes tipos de solos estudados.

**Table 4.** Average annual increment of the seven-year old eucalyptus in the different forest soil classes

Tipos de Solos	Simbologia	IMA (m <sup>3</sup> /ha/ano)
Argissolos Vermelhos	PVd1, PVd3 e PVd4	47,9a
Argissolos Vermelho-Amarelos	PVA2 e PVA4	46,1a
Cambissolos	CXvd1 e CXvd4	46,0a
Neossolos Litólicos	RLd3	46,0a
Gleissolos	GM1	40,3b
Planossolos	SXd2 e SXd3	40,2b
Neossolos Quartzarênicos	RQo	38,0c

Médias seguidas da mesma letra podem ser consideradas estatisticamente iguais pelo teste de Tukey ao nível de significância estatística de 5% (DMS = 2,1).

**Tabela 5.** Regressões múltiplas relacionando incremento médio anual (IMA) aos elementos da análise química e aos elementos da mineralogia.

**Table 5.** Multiple regressions relating average annual increment (IMA) to the elements of the chemical and mineralogical analyses.

$IMA = 39,89 + 0,00101.Mg_{total} - 4,49.10^{-8}.Ca.Mg_{total}$		
Variável <sup>a</sup>	Parâmetro Estimado	Significância (Prob > T)
Intercepto	39,89	0,0001**
Mg "total"	0,00101	0,0075**
Ca x Mg "totais"	$-4,49 \cdot 10^{-8}$	0,0059**
R <sup>2</sup>	0,6231*	
Teste de F da regressão	0,0124*	

$IMA = 37,42 + 0,000576.Ca_{total} + 0,00145.Mg_{total} - 0,000261.Ca_{total}.Feldspato$		
Variável <sup>b</sup>	Parâmetro Estimado	Significância (Prob > T)
Intercepto	37,42	0,0001**
Ca "total"	0,000576	0,1623 <sup>ns</sup>
Mg "total"	0,00145	0,0012**
Ca "total" x Feldspato	-0,000261	0,0169*
R <sup>2</sup>	0,7929**	
Teste de F da regressão	0,0041*	

<sup>a</sup>Regressão IMA = f(Ca, Mg, K); <sup>b</sup> Regressão IMA = f(Ca, Mg, K, mineralogia da fração areia); \*\*, \* Significativo respectivamente a 1 e 5%; ns = não significativo.

Quando combinados os nutrientes da análise química com o mineral feldspato na fração areia, há considerável melhoria na regressão, o que demonstra a importância deste mineral, nesta fração, no comportamento geral do IMA. As demais frações apresentaram regressões adequadas basicamente pela presença dos nutrientes Ca e Mg, sendo reflexo da primeira regressão, ou seja, de que os nutrientes oriundos da análise química são fundamentais para entender ou mesmo prever o comportamento do IMA e que a mineralogia tem pouco impacto nas demais frações (silte e argila). É possível observar que a regressão envolvendo os nutrientes da análise química bem como a presença do mineral feldspato em uma das variáveis, propiciou uma melhoria significativa do coeficiente de determinação, significando que esta combinação (feldspato + análise química) produziu resultados muito importantes para predição do comportamento do IMA.

## CONCLUSÕES

As variações nos teores "totais" de Ca e Mg acompanharam os ambientes e subambientes dos solos, estratificados com base na sua posição na paisagem, mineralogia e cor.

A reserva em nutrientes para as plantas de eucalipto é variável, indo desde praticamente nula nos Neossolos Quatzarênicos, até moderadamente boa nos Cambissolos, Neossolos Litólicos e Argissolos Vermelhos. Solos com problemas de drenagem (Gleissolos e Planossolos Háplicos) apresentam baixa reserva em nutrientes, principalmente em

função da natureza dos sedimentos depositados. Nos Argissolos, ocorrem dois subambientes em termos químicos e mineralógicos: um representado pelos solos vermelho-amarelos, com menores teores de feldspatos e micas, e outro, pelos solos vermelhos, mais ricos nesses minerais.

Os dados do incremento médio anual (IMA) do eucalipto de 7 anos distinguiram 3 conjuntos de solos em função de seus atributos diferenciais, separando solos bem drenados (IMA  $\geq 46$  m<sup>3</sup>/ha/ano), solos com risco de anoxia (IMA  $\approx 40$  m<sup>3</sup>/ha/ano) e solos muito arenosos (IMA de 38 m<sup>3</sup>/ha/ano).

## REFERÊNCIAS

- BARROS, N.F.; COMERFORD, N.B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.) *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: UFV, 2002. v.2, p.487-592.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento de Pesquisa Agropecuária. **Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul**. 1973, 431p. (Boletim Técnico, 30).
- BUOL, S.W. *et al.*; **Soil genesis and classification**. Ames: The Iowa State University Press, 2003. 494 p.
- CARMO, D.N.; RESENDE, M.; SILVA, T.C.A. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. 330p.

- CASTRO, P.P. **Reserva e disponibilidade de nutrientes para o eucalipto em solos do Rio Grande do Sul.** 2006. 63p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- COSTA, A.M.; CURI, N.; ARAUJO, E.F.; MARQUES, J.J.; MENEZES, M.D. Avaliação do risco de anoxia para o cultivo do eucalipto no Rio Grande do Sul utilizando-se levantamento de solos. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v.37, p.367-375, 2009.
- CURI, N. Interpretação e decodificação do levantamento de solos das áreas da Aracruz Celulose S. A. no Espírito Santo e sul da Bahia para o cultivo de eucalipto. In: EMPRESABRASILEIRADEPESQUISAAGROPECUÁRIA. **Levantamento generalizado e semidetalhado de solos da Aracruz Celulose S.A. no estado do Espírito Santo e no extremo sul do estado da Bahia e sua aplicação aos plantios de eucalipto.** Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2000. p.70-80. (Boletim de Pesquisa, 1).
- CURI, N.; KÄMPF, N.; MARQUES, J.J.G.S.M. Mineralogia e formas de potássio em solos brasileiros. In: TSUIIOSHI, Y.; TERRY L.R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba: Potafos, 2005. v.2, p.71-91.
- CURI, N.; KÄMPF, N.; RESENDE, M. Mineralogia, química, morfologia e geomorfologia de solos originados de rochas efusivas das Encostas Superior e Inferior do Nordeste, no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8, p.269-276, 1984.
- EMPRESABRASILEIRADEPESQUISAAGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo.** 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p.
- EMPRESABRASILEIRADEPESQUISAAGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa-Solos, 2006. 306p.
- FERREIRA, D.F. **Estatística Multivariada.** Lavras: Editora UFLA, 2008. v.1. 662 p.
- FERREIRA, D. F. **Estatística Básica.** Lavras: Editora UFLA, 2005. v.1. 664 p.
- FURTINI NETO, A.E.; SIQUEIRA, J.O.; CURI, N.; MOREIRA, F.M.S. Fertilization in native species reforestation. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Forest nutrition and fertilization.** Piracicaba: IPEF, 2004. p.349-378.
- HRADETZKY, J. **Analyse und interpretation statisher abränger keiten.** (Biometrische Beiträge zu aktuellen forschungs projekten). Baden: Württemberg Mitteilungen der FVA, 1976. 146p. (Abt. Biometric und Informatik, 21).
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis-advanced course.** Madison: Prentice-Hall, 1979. 895p.
- KÄMPF, N.; CURI, N. Argilominerais em solos brasileiros. In: CURI, N. MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G; LIMA, J.M.; LOPES, A.S.; ALVAREZ, V.H.A. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: UFV, 2003. v.3, p.1-54.
- LACERDA, M.P.C.; ANDRADE, H.; QUÉMÉNEUR, J.J.G. Transformações mineralógicas ao longo de perfis de alteração pedogenética na região de Lavras (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.799-809, 2001.
- LEMONS, R.C.; AZOLIN, M.D.; ABRAÃO, P.V.R.; SANTOS, M.C.L. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul.** Recife: Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisas Agropecuárias. Divisão de Pesquisas Pedológicas, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).
- MELO V.F.; COSTA, L.M.; BARROS, N.F.; FONTES, M.P.F.; NOVAIS, R.F. Reserva mineral e caracterização mineralógica de alguns solos do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.159-164, 1995.
- MENEZES, A.A. **Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo.** 2005. 98p. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- MIELNICZUK, J. Avaliação da resposta das culturas ao potássio em ensaios de longa duração: experiências brasileiras. In: YAMADA, T. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira.** Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa, 1982. p.289-303.
- MOTTA, P.E.F.; KÄMPF, N. Iron oxide properties as support to soil morphological features for prediction of moisture regimes in Oxisols of Central Brazil. **Z. Pflanzenernähr, Boden**, v.155, p.385-390, 1992.
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nutrição mineral do eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. (Ed.). **Relação solo-eucalipto.** Viçosa: Folha de Viçosa, 1990. p.25-98.

- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Interpretação de análise química do solo para o crescimento e desenvolvimento de *Eucalyptus* spp. -Níveis críticos de implantação e de manutenção. **Revista Árvore**, Viçosa, v.10, n.1, p.105-111, 1986.
- OLIVEIRA, A.H.; SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; AVANZI, J.C. Tolerância de perdas de solo por erosão hídrica na região sudeste do Estado do Rio Grande do Sul. In: XXXI CBCS CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31.,2007, Gramado. **Anais eletrônicos...** Porto Alegre: SBCS, 2007. p.21
- POZZA, A.A.A.; CURTI, N.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.M.; COSTA, E. T.S.; ZULIANI, D.Q.; MOTTA, P.E.F.; MARTINS, R.S.; OLIVEIRA, L.C.A. **Adsorção e dessorção aniônicas individuais por gibbsita pedogenética**. Química Nova, São Paulo, v.32, p.99-105, 2009.
- POZZA, A.A.A., CURTI, N.; COSTA, E.T.S.; GUILHERME, L.R.G.; MARQUES, J.J.G.S.M.; MOTTA, P.E.F. Retenção e dessorção competitivas de ânions inorgânicos em gibbsita natural de solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n.11, p.1627-1633, 2007.
- RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N. Mineral nutrition and fertilization of native tree species in Brazil: research progress and suggestions for management. **Journal of Sustainable Forestry**, New York, v.20, n.2, p.45-81, 2005b.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; KER, J.C.; REZENDE, S.B. **Mineralogia de solos brasileiros - Interpretação e Aplicações**. Lavras: Editora UFLA, 2005a. 192p.
- RESENDE, M.; CURTI, N. LANI, J.L. Reflexões sobre o uso de solos brasileiros. In: ALVAREZ, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: UFV, 2002. v.2, p.593-643
- RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 5ed. Lavras: Editora UFLA, 2007. 322p.
- RESENDE, M.; CURTI, N.; SANTANA, D.P. **Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações**. Brasília: MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 84p.
- RIGATTO, P.A.; DEDECEK, R.A.; MATTOS, J.L.M. Influência de atributos do solo sobre a produtividade de *Pinus taeda*. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.701-709, 2005.
- SANTOS, R.D.; BORTOLAS, E.P. **Levantamento semidetalhado dos solos de hortos da unidade Guaíba-Aracruz com proposta de criação de unidades de manejo**. Guaíba: Aracruz Celulose, 2004. 154p.
- SANTOS, R.D.; LEMOS, R.C.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C. **Manual de descrição e coleta de solos no campo**. 5ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005. 100p.
- STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS institute inc. **SAS statistical user's guide**. Version 6. 4ed., v.2, Cary:NC, SAS Institute Inc., 1989. 846p.
- SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; SGARBI, F.; MUNIZ, M.R.A. **Seja doutor do seu eucalipto**. Piracicaba: Potafos. 2001. 32p. (Arquivo do Agrônomo,12).
- SPARKS, D.L. Bioavailability of soil potassium. In: SUMNER, M.E. (Ed.). **Handbook of soil science**. Boca Raton: CRC, 2000. p.38-53.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L.F.S. **Solos do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Emater/RS/UFGRS, 2008. 222p.
- TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N.; CARNEIRO, L.F.; ALOVISI, A.A. Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v.29, n.1, p.9-16, 2007.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Levantamento exploratório, com intensidade, de solos do centro-oeste do Estado do Pará**. Vicosas: UFV, 1979. 266p.

Recebido em 10/07/2009

Aceito para publicação em 05/01/2011

## **INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (IPEF)**

Armando José Storni Santiago (International Paper do Brasil Ltda.) - Presidente

Germano Aguiar Vieira (Masisa Brasil Empreendimentos Florestais Ltda.) - Vice-Presidente

### **Empresas Associadas Mantenedoras / Partners**

- » Arauco Florestal Arapoti S.A.
- » Arborgen Tecnologia Florestal Ltda
- » ArcelorMittal BioEnergia Ltda
- » Caxuana S/A Reflorestamento
- » Celulose Nipo-Brasileira S/A - CENIBRA
- » CMPC Celulose Riograndense
- » Copener Florestal Ltda
- » Duratex S/A
- » Eucatex S/A Indústria e Comércio
- » Fibria Celulose S/A
- » Forestal Oriental
- » International Paper do Brasil Ltda
- » Jari Celulose, Papel e Embalagens S.A.
- » Klabin S/A
- » Lwarcel Celulose Ltda
- » Masisa do Brasil Ltda
- » Montes Del Plata S.A.
- » Ramires Reflorestamentos Ltda
- » Rigesa Celulose, Papel e Embalagens Ltda
- » Stora Enso Florestal RS Ltda
- » Suzano Papel e Celulose S.A.
- » Veracel Celulose S/A
- » V&M Florestal Ltda