



“Ciclagem de Nutrientes em Sistemas Florestais”

Prof. José Leonardo de Moraes Gonçalves
Departamento de Ciências Florestais



FERTBIO 2016
“RUMO AOS NOVOS DESAFIOS”

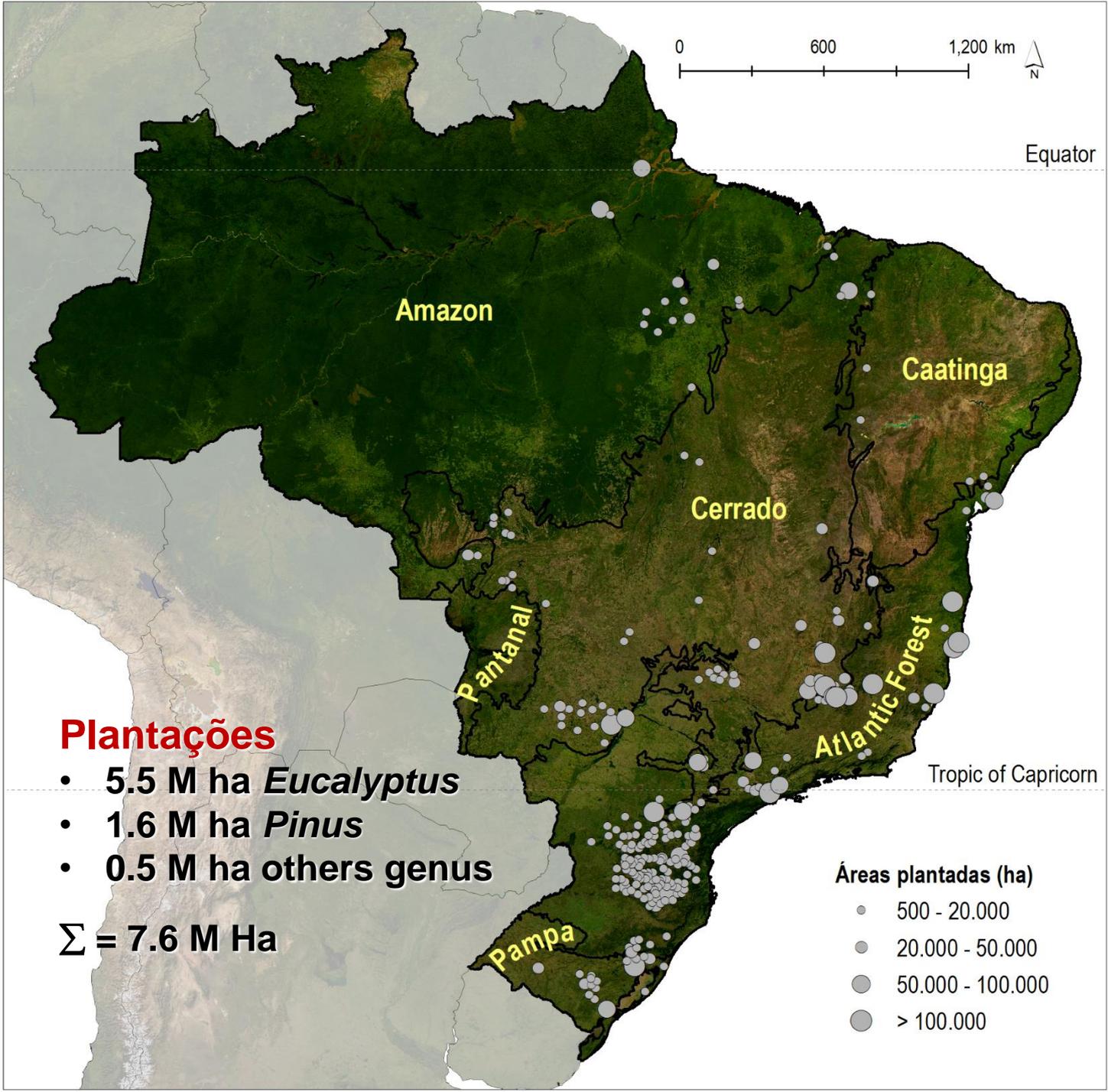
16 a 20
outubro
2016

Centro de
Convenções de
GOIÂNIA - GO

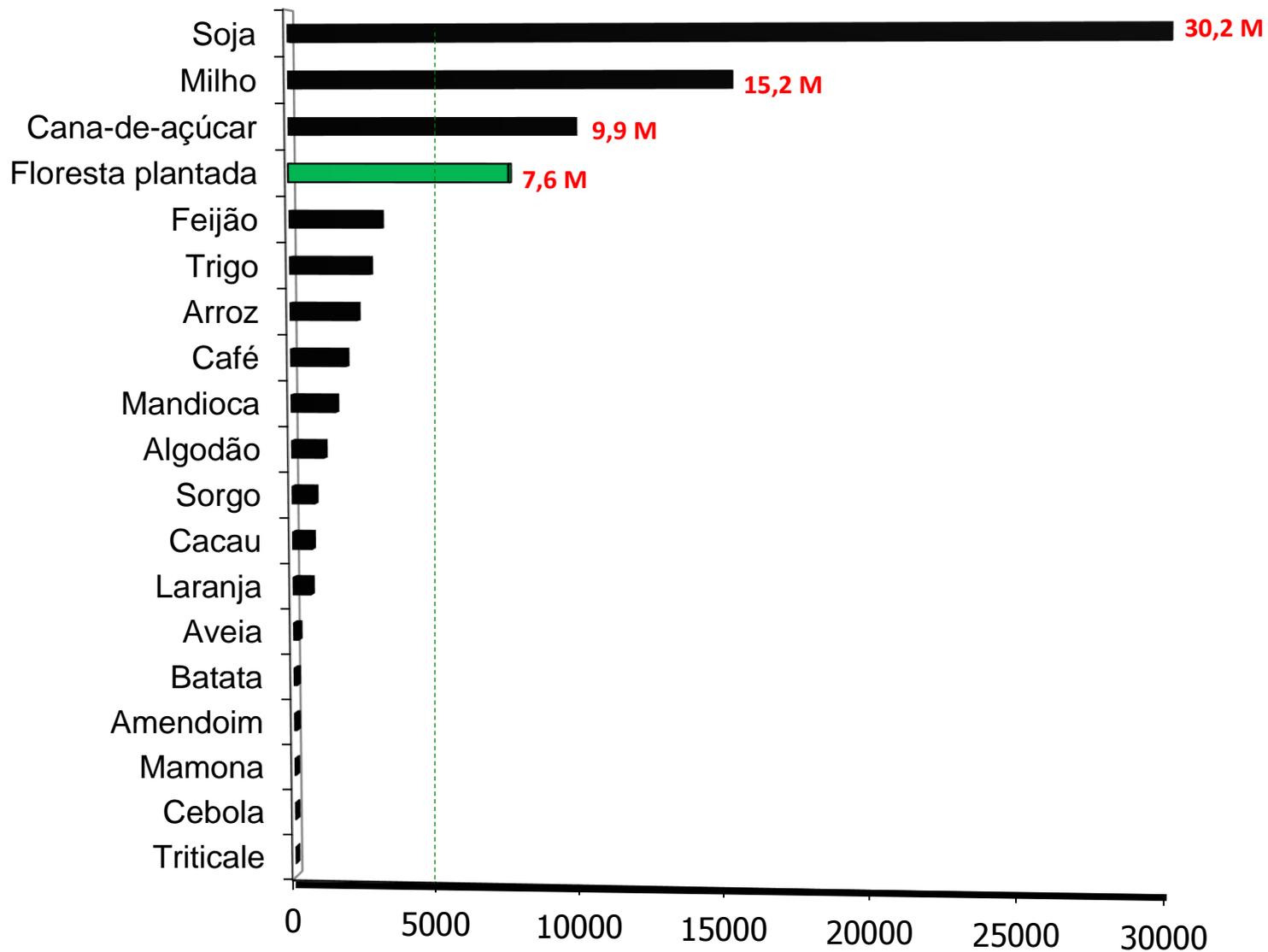
Sumário

1. Silvicultura brasileira
2. Nutrição florestal
3. Tipos de ciclagem de nutrientes
4. Métodos para medir a CN
5. Ciclagem de nutrientes em plantações de eucalipto
6. Ciclagem de nutrientes em plantações de pinus
7. Aplicações da ciclagem de nutrientes

Silvicultura Brasileira



Área cultivada no Brasil em 2014 (1000 ha)

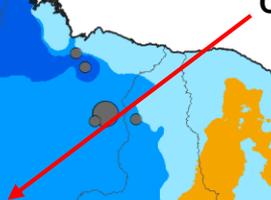


Área com pastagem: 172,3 milhões ha

0 500 1,000 km

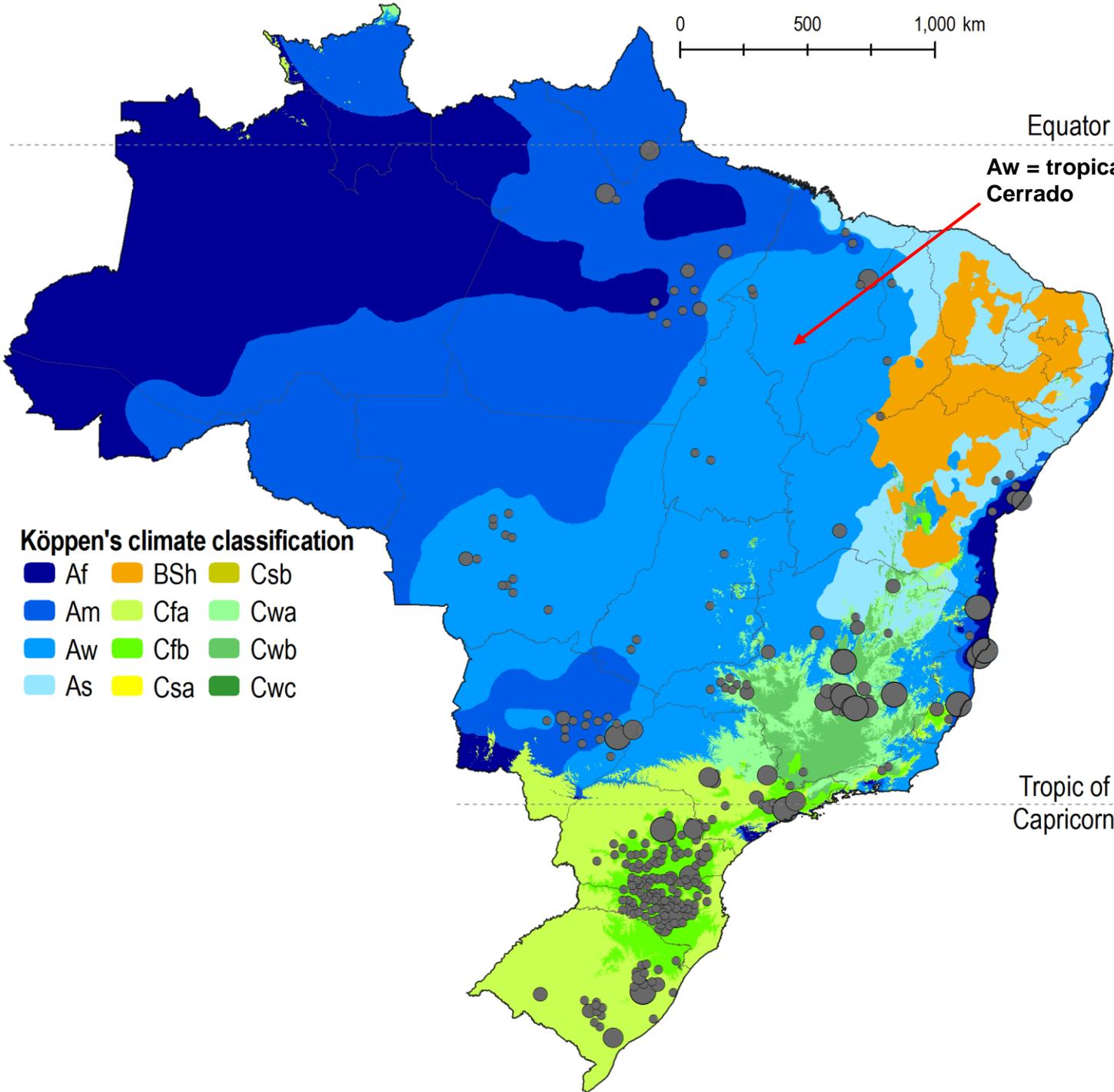
Equator

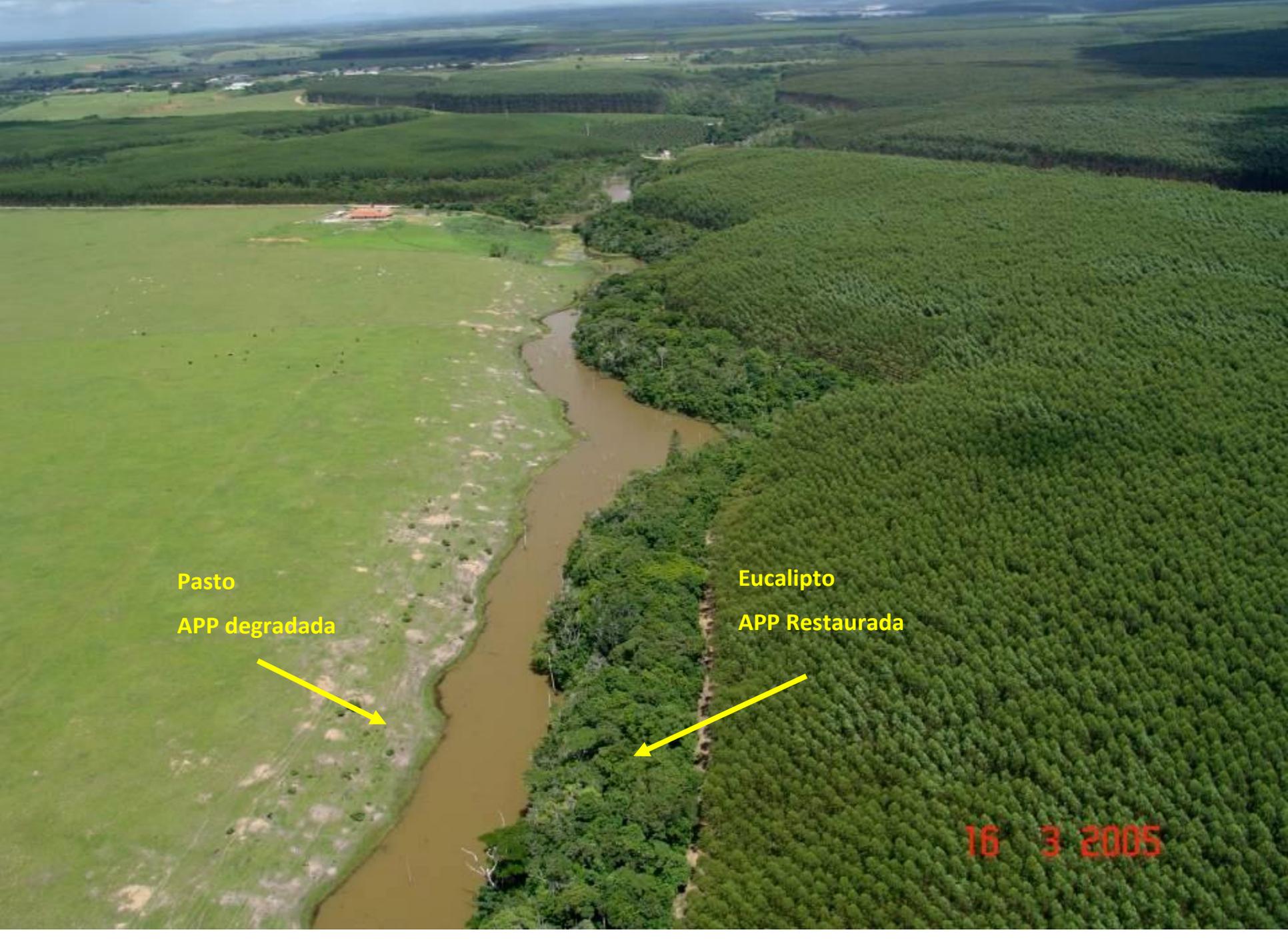
Aw = tropical, inverno seco e quente
Cerrado



Köppen's climate classification

- | | | |
|----|-----|-----|
| Af | BSh | Csb |
| Am | Cfa | Cwa |
| Aw | Cfb | Cwb |
| As | Csa | Cwc |





Pasto
APP degradada

Eucalipto
APP Restaurada

16 3 2005



FASES NUTRICIONAIS DO POVOAMENTO FLORESTAL

Antes do fechamento de copas

FASE INICIAL

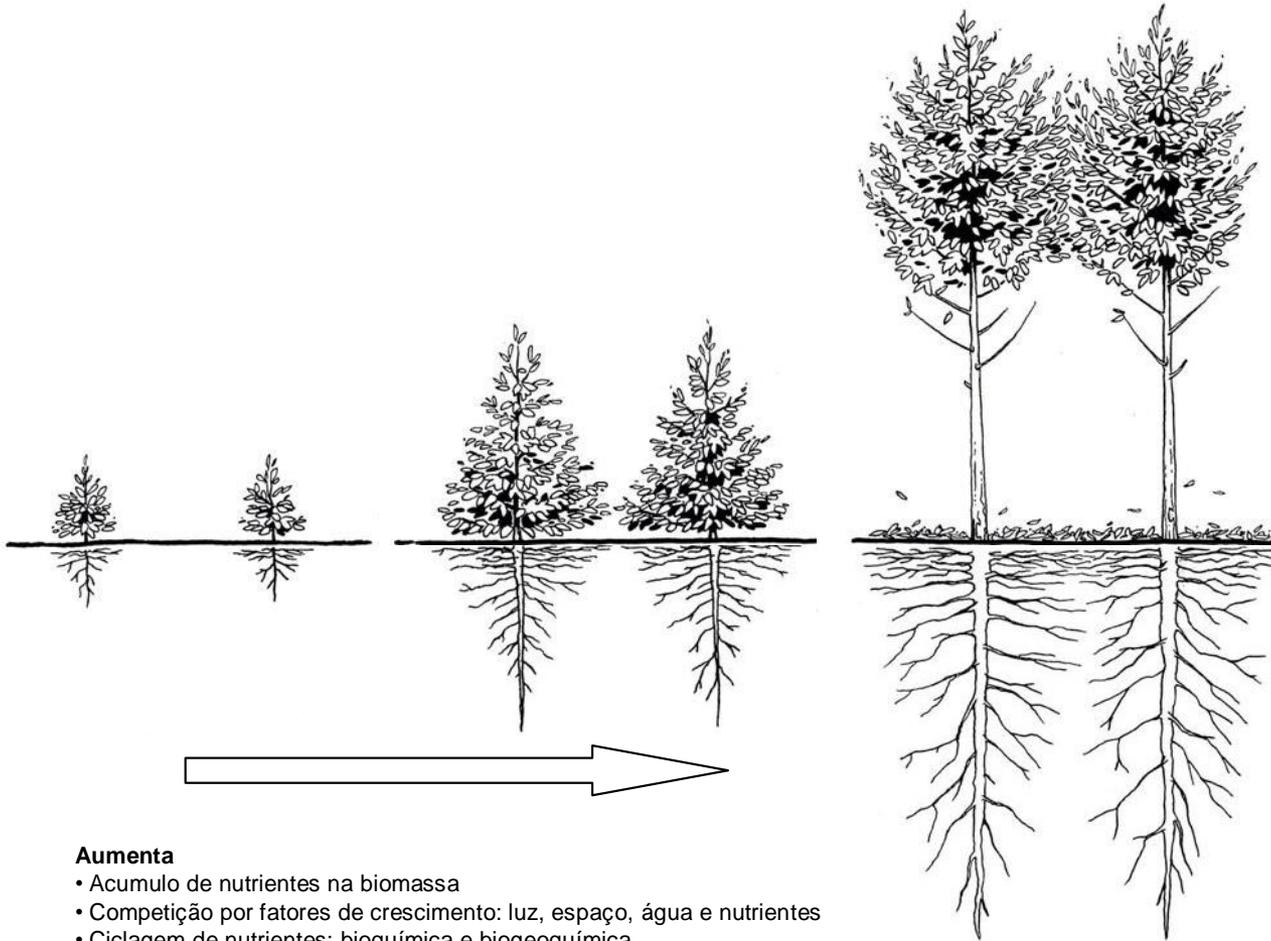
Adaptação e crescimento inicial pós-plantio (1-3 meses)

FASE INTERMEDIÁRIA

Franco crescimento da parte aérea e sistema radicular

FASE FINAL

Após o fechamento de copas



Aumenta

- Acúmulo de nutrientes na biomassa
- Competição por fatores de crescimento: luz, espaço, água e nutrientes
- Ciclagem de nutrientes: bioquímica e biogeoquímica
- Eficiência de uso dos nutrientes
- Profundidade edáfica de exploração radicular

Diminui

- Dependência do solo como fonte de nutrientes
- Potencial de resposta à fertilização
- Risco de perda de nutrientes por erosão e lixiviação

Alguns atributos das fases nutricionais de um povoamento florestal no decorrer de seu desenvolvimento

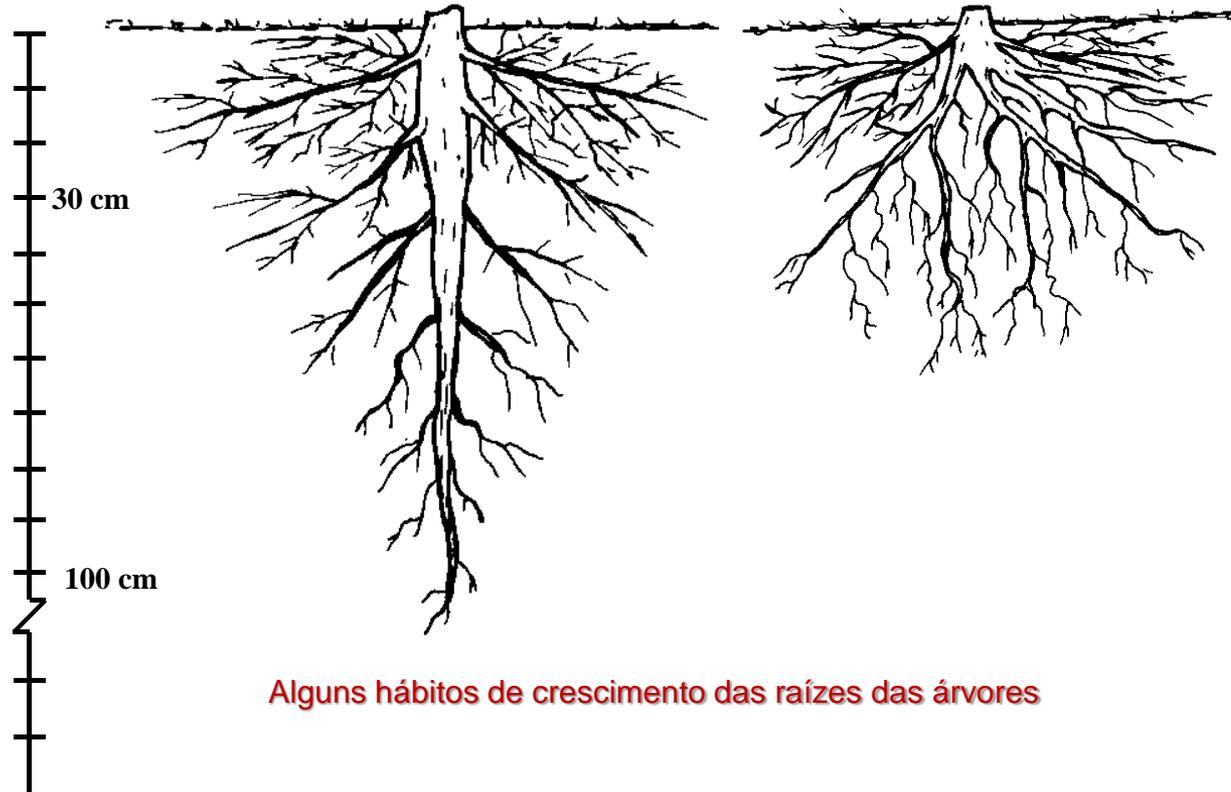
Sistema Radicular das Árvores

- ✓ Pioneiras
- ✓ Secundárias iniciais
- ✓ *Eucalyptus*

- ✓ Secundárias
- ✓ Clímax
- ✓ *Pinus*

Axial ou Pivotante

Ramificado



Alguns hábitos de crescimento das raízes das árvores

Espécies de rápido crescimento

- Elevada capacidade de reciclar nutrientes (concentra-os no horizonte A)
- Eficiente associação micorrízica
- Absorção de água e nutrientes de horizontes subsuperficiais



Raiz de *E. grandis* (semente)
6 anos
LVA text. média

A característica do sistema radicular é essencial para a adaptação dos genótipos às condições de estresse hídrico.

Há alta correlação entre a profundidade da raiz pivotante e a tolerância ao déficit hídrico.



Pinus caribaea var. hondurensis

LVA distrófico argiloso

Solo bem permeável

- ampla distribuição de raízes em profundidade

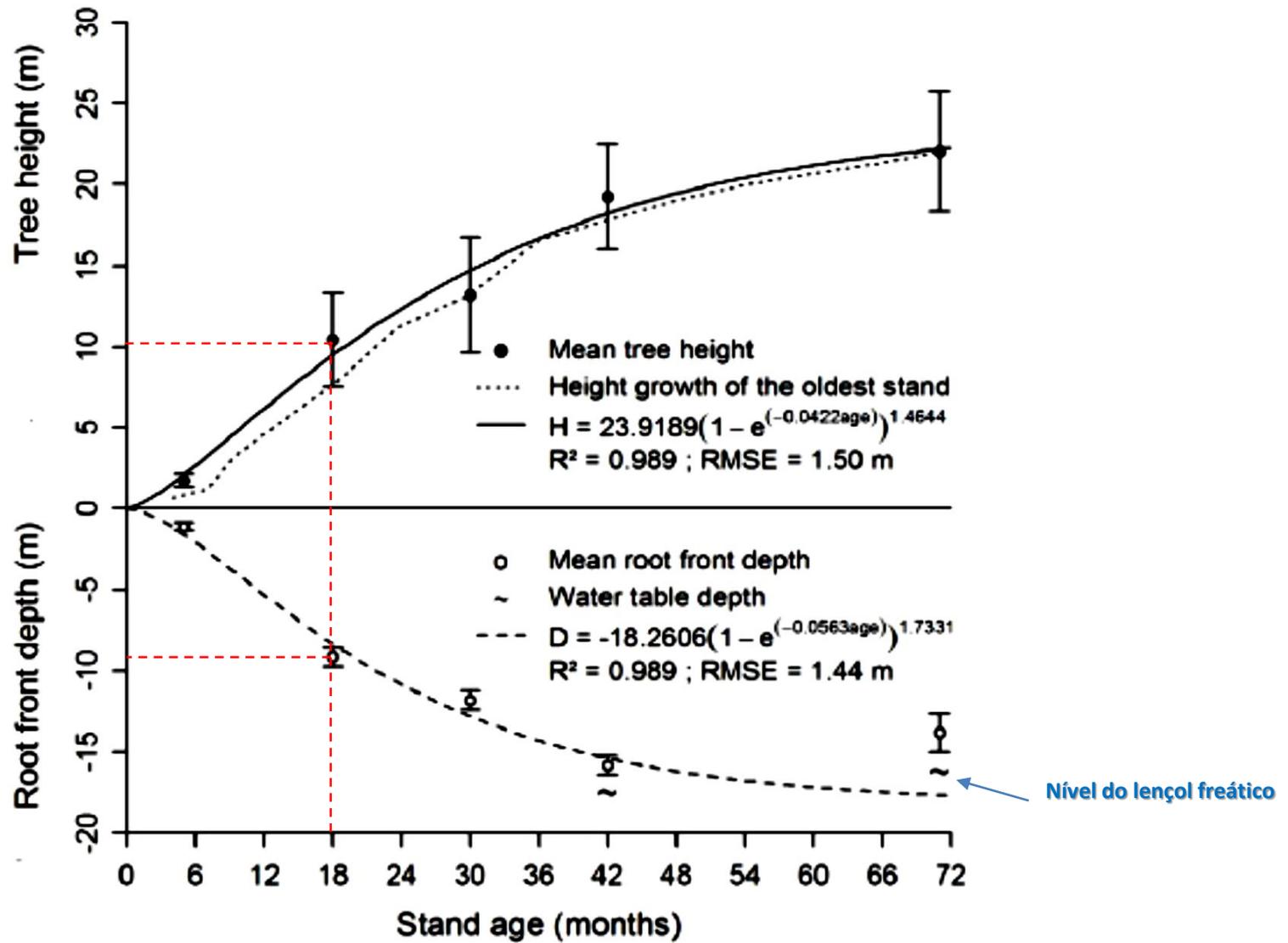


esa

ECOSPHERE

Almost symmetrical vertical growth rates above and
below ground in one of the world's most productive forests

M. CHRISTINA,^{1,2} J.-P. LACLAU,^{2,3,†} J. L. M. GONÇALVES,⁴ C. JOURDAN,² Y. NOUVELLON,^{2,5} AND J.-P. BOUILLET^{2,4}



Profundidade máxima das raízes \approx 85% da altura média das árvores

Pesquisa sobre Balanço hídrico no solo (até 10 m)



Sensores de umidade do solo : 0.15, 0.50, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 m

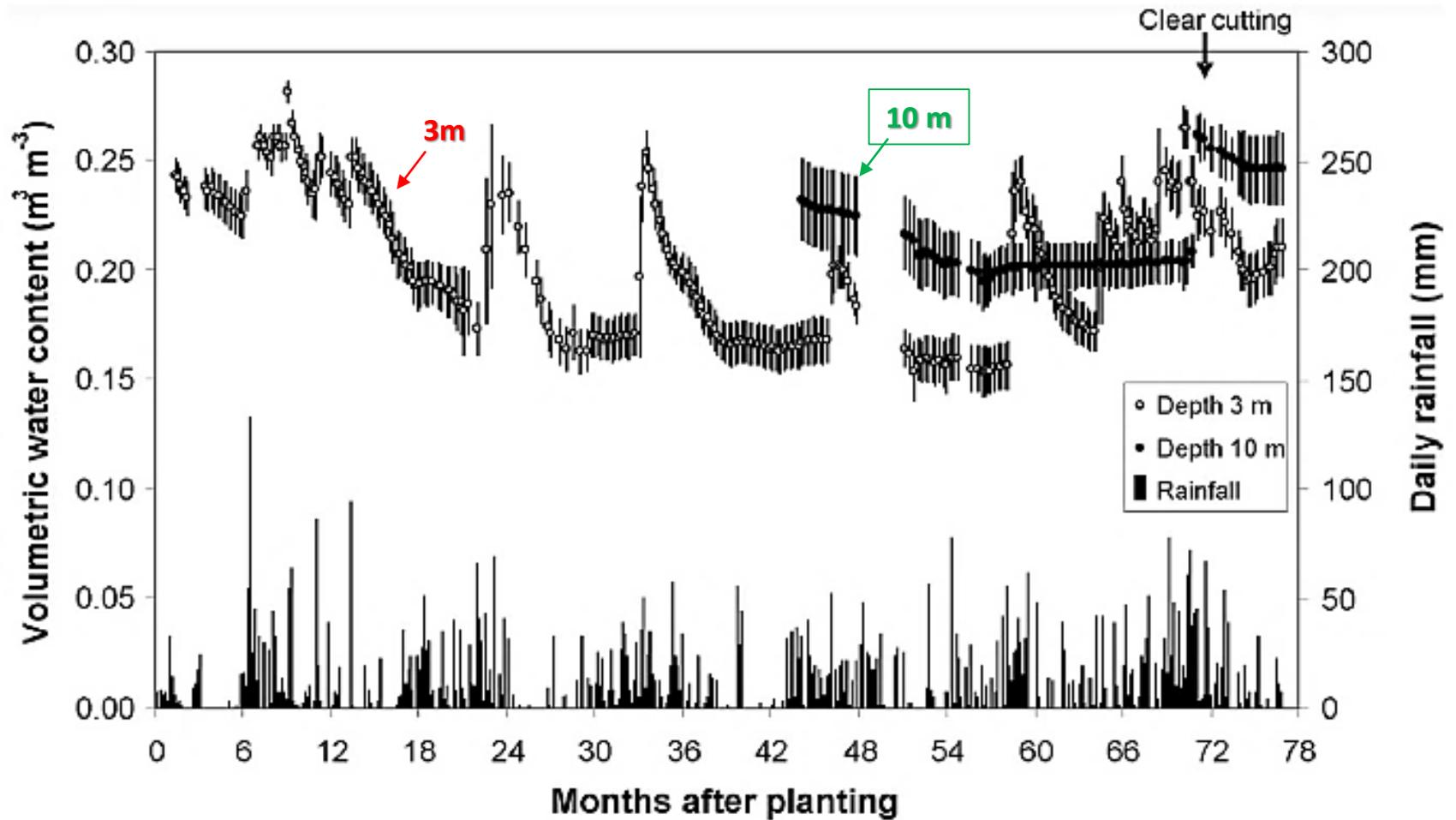
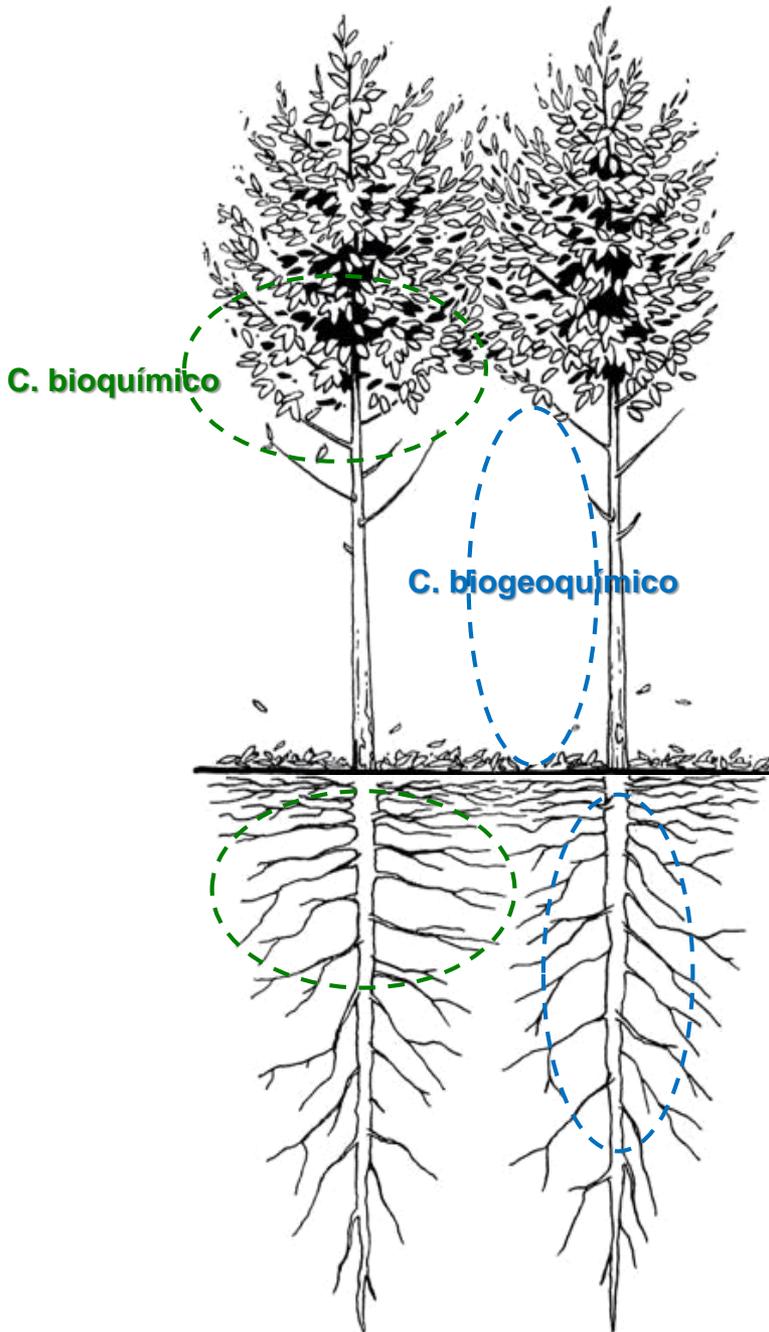


Fig. 5. Time-course of volumetric water contents measured weekly at depths of 3.0 and 10.0 m in the oldest stand of the chronosequence, from planting to the end of the rotation. Standard deviations are indicated by vertical bars ($n = 6$ at a depth of 3.0 m and $n = 4$ at a depth of 10.0 m). Probes at a depth of 10.0 m were installed 43 months after planting. Daily rainfall over the study period is indicated.

Tipos de Ciclagem de Nutrientes



Ciclos dos nutrientes em ecossistemas florestais:

1) Ciclo geoquímico

Relativo às entradas e saídas de nutrientes do ecossistema, por meio de [precipitações atmosféricas](#) (+), [aplicação de fertilizantes](#) (+), [intemperismo](#) de minerais primários (+), [erosão](#) (-), [lixiviação](#) (-) e [volatilização](#) (-).

2) Ciclo biológico

Relativo ao fluxo de nutrientes no sistema solo-planta.

2.1. Ciclo bioquímico

Se refere à movimentação de nutrientes entre tecidos da própria árvore. Normalmente, a retranslocação de nutrientes dos tecidos senescentes para os tecidos em formação constitui a principal forma de transferência de nutrientes internamente na árvore.

2.2. Ciclo biogeoquímico

Abrange a ciclagem de nutrientes entre o solo e a biomassa, principalmente, por meio da deposição, mineralização e reabsorção de nutrientes contidos em materiais vegetais.

Avaliação da Ciclagem Biogeoquímica

Decomposição de folha em sacos



Estimação da quantidade de serapilheira remanescente após um tempo t

$$\frac{X}{X_0} = e^{-Kt}, \text{ onde:}$$

X = qde de folheto remanescente, após decorrido t

X_0 = qde de folheto inicial

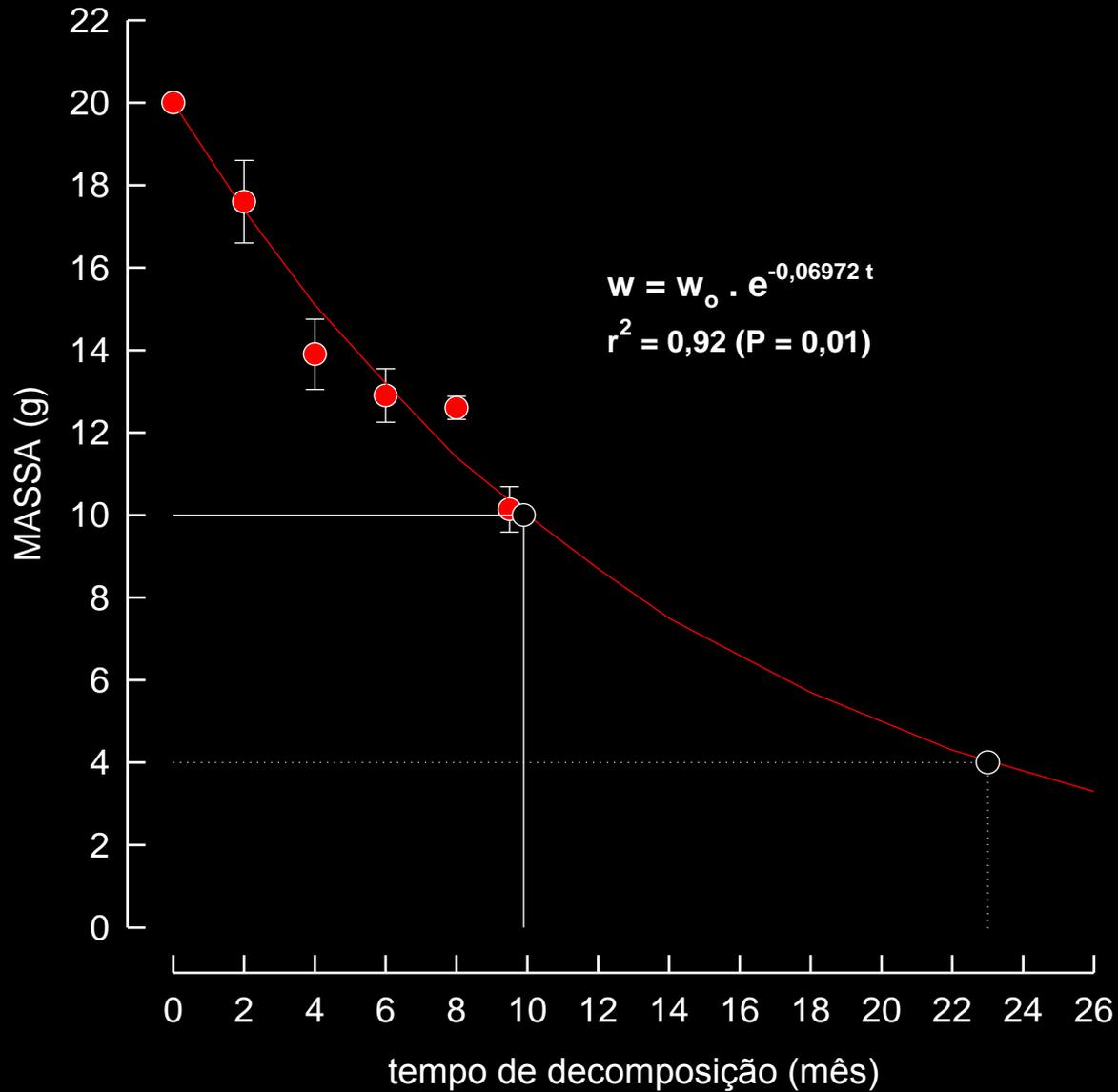
– Estimativa da meia vida de uma dada fração de serapilheira

$$0,5 = e^{-Kt_{0,5}} \quad \therefore \quad t_{0,5} = \frac{0,693}{K}$$

– Estimativa de 95% de decomposição de uma dada fração de serapilheira

$$0,05 = e^{-Kt_{0,95}} \quad \therefore \quad t_{0,95} = \frac{3}{K}$$

E. grandis
Cultivo mínimo
7 anos



Dinâmica de decomposição das folhas decíduas,
incubadas no campo no interior de bolsas de náilon

Avaliação da decomposição pela relação entre a serapilheira depositada e a acumulada



Equações matemáticas usadas para estimar a velocidade de decomposição da serapilheira

$$K = \frac{L}{X_{SS}}, \text{ onde}$$

K = taxa de decomposição instantânea

L = quantidade de serapilheira depositada anualmente

X_{SS} = serapilheira acumulada sobre o solo, em equilíbrio dinâmico

$$\text{Tempo médio de renovação} = \frac{X_{SS}}{L} = \frac{1}{K}$$

★ quanto **< K** ⇒ menor tempo de renovação da serapilheira

Taxas de retranslocação de nutrientes

(ciclagem bioquímica)

$$\text{TR (\%)} = \frac{\frac{\text{Conc. Média Nutr. Tecido Decíduo}}{\text{Conc. Média Ca Tecido Decíduo}}}{\frac{\text{Conc. Média Nutr. Tecido Normal}}{\text{Conc. Média Ca Tecido Normal}}} \times 100$$

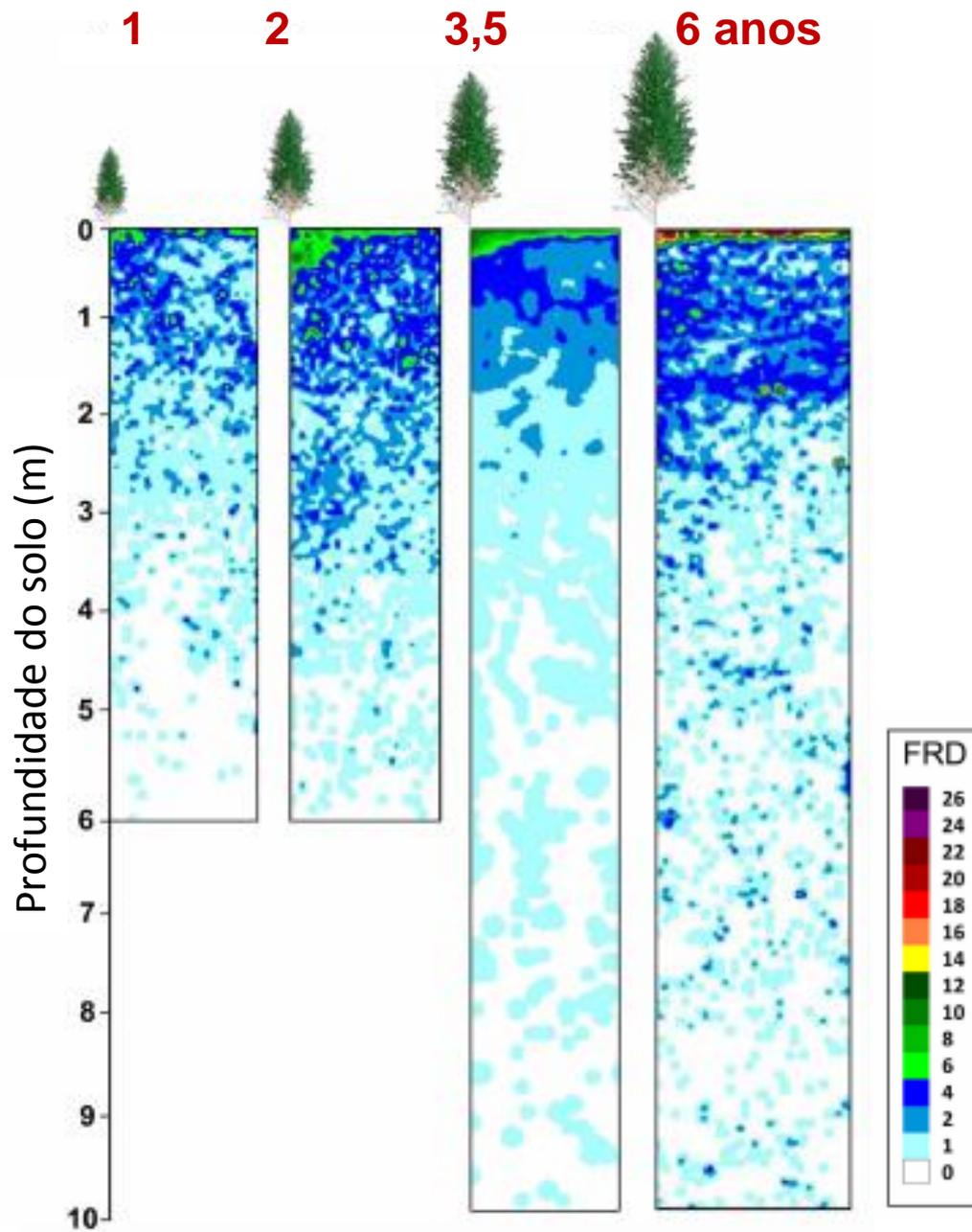
Perda de Nutrientes Pós-Colheita e Pós-Fertilização

Qual a grandeza das perdas de nutrientes por lixiviação?





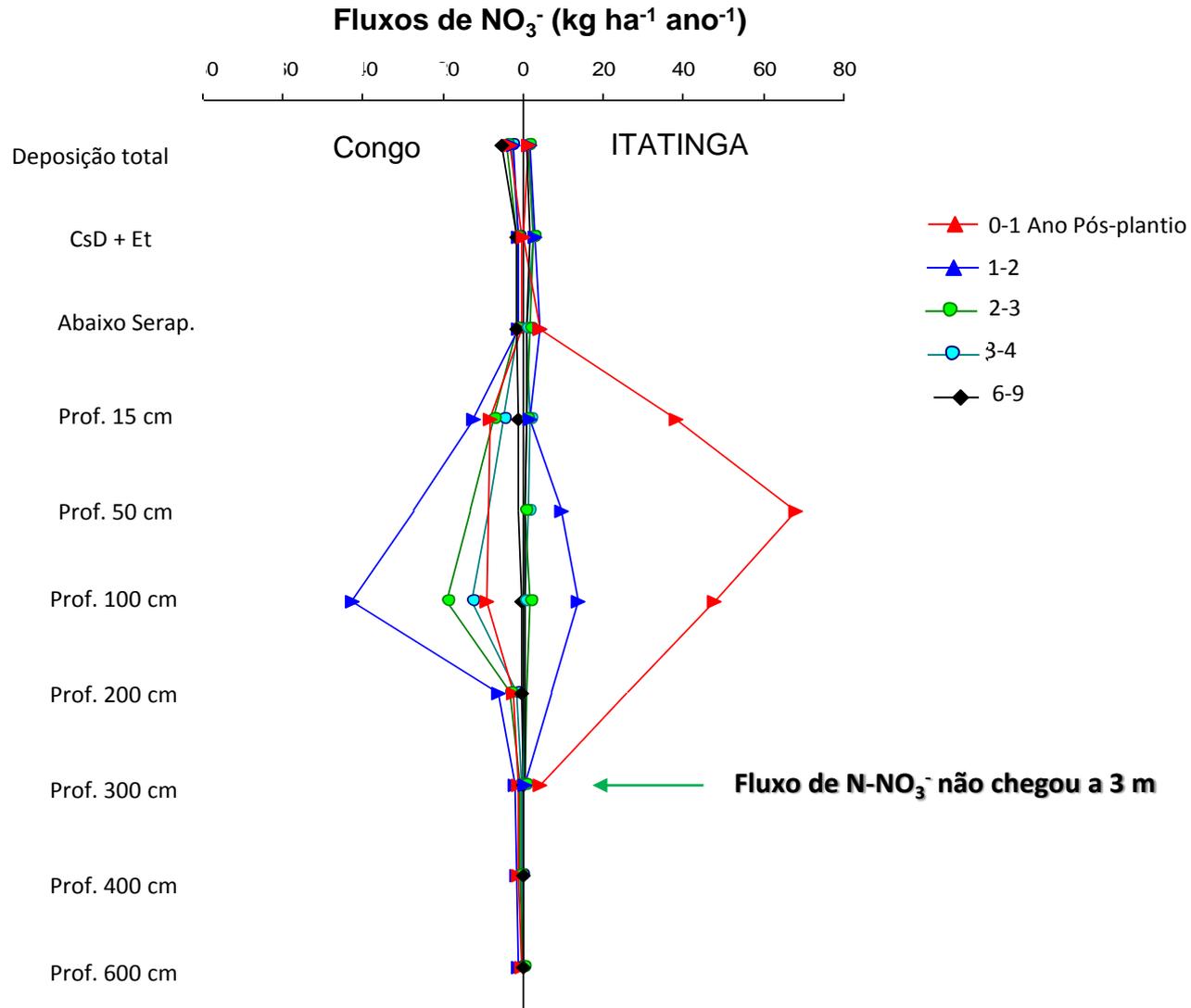
- Monitoramento da lixiviação de nutrientes (lisímetros)
- Monitoramento da umidade do solo (sensores TDR)



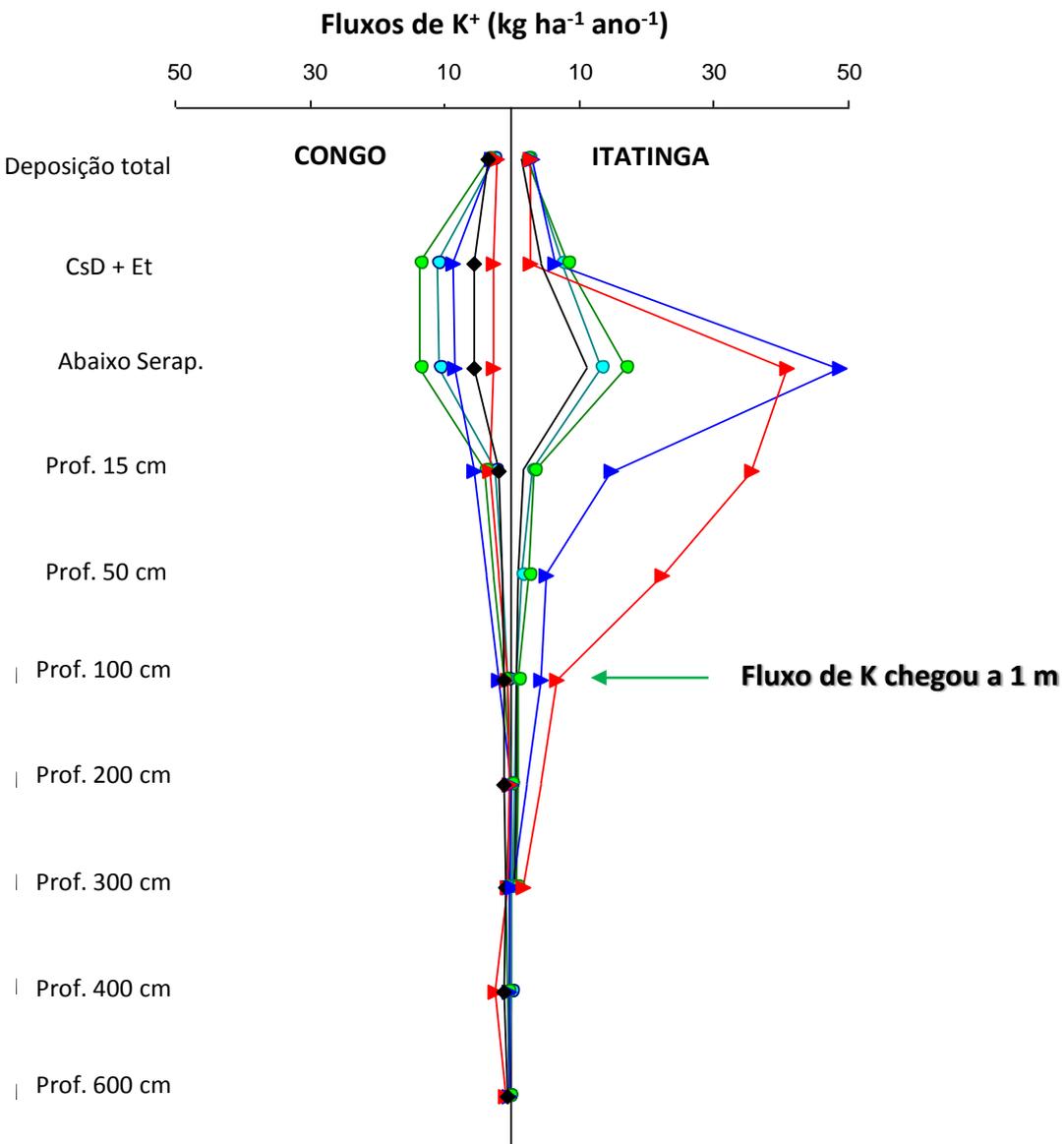
Densidade de raízes finas (FRD)

(intersectos de raízes finas em 25 cm² de perfil de solo)

Lixiviação de N-NO_3^-



Lixiviação de K (via solução do solo)



Em solos arenosos (90% de areia no Congo e 75% em Itatinga) as perdas a 3 m de profundidade são menores do que as Deposições atmosféricas.

Idade do plantio
E. grandis

- 0-1 Ano Pós-plantio
- 1-2
- 2-3
- 3-4
- 6-9

ALGUMAS ETAPAS DO CICLO DO N



Deposição Anual de N

	Capoeira	Capoeirão	Mata
	Kg ha ⁻¹		

Folhas	78	116	110
Galhos finos	15	33	31
Detritos diversos	6	11	23
Total	99	160	164

Deposição Anual e Acumulada de Serapilheira

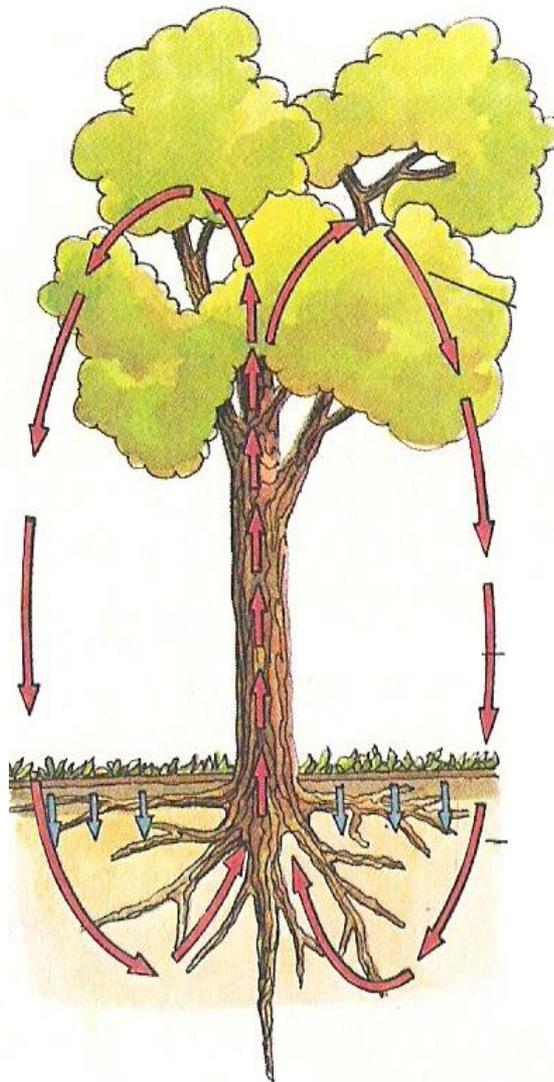
	Capoeira	Capoeirão	Mata
	t ha ⁻¹		

Anual	5,8	8,0	9,5
Acumulada	4,2	5,6	6,0
k	1,4	1,4	1,7
t _{0,5}	0,5	0,5	0,4

ALGUMAS ETAPAS DO CICLO DO N

Conteúdo de N (kg ha⁻¹)

	<i>E. grandis</i>	<i>P. taeda</i>
Folha	57	160
Galho	16	150
Casca	36	50
Madeira	224	140
Serapilh.	187	160
Subtotal	520	660
Raiz grossa	75	-
Raiz fina	22	-
Subtotal	96	-
TOTAL	616	660



Deposição Anual de N

	<i>E. grandis</i>	<i>P. taeda</i>
	— Kg ha ⁻¹ —	
Folha	29	44
Galho	13	-
Total	42	44

Translocação de N

	<i>E. grandis</i>	<i>P. taeda</i>
Relativa (%)	61	85
Absoluta (kg ha ⁻¹)	50	-

Deposição Anual e Acumulada de Serapilheira

	<i>E. grandis</i>	<i>P. taeda</i>
Anual (t ha ⁻¹ ano ⁻¹)	7,7	8,0
Acumulada (t ha ⁻¹)	23,9	20,0
k	0,32	0,4
t _{0,5} (ano)	2,1	1,7

E. grandis: LVA text. média, 7 anos
P. taeda: LVdf, argiloso, 10 anos

Ciclagem de Nutrientes em Plantações de Eucalipto

TAXAS DE RETRANSLOCAÇÃO (CICLAGEM BIOQUÍMICA) DE NUTRIENTES

PERÍODO: ao longo de um ano de crescimento

ESPÉCIE: *Eucalyptus grandis* (I.M.A. = 40 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de madeira sem casca)

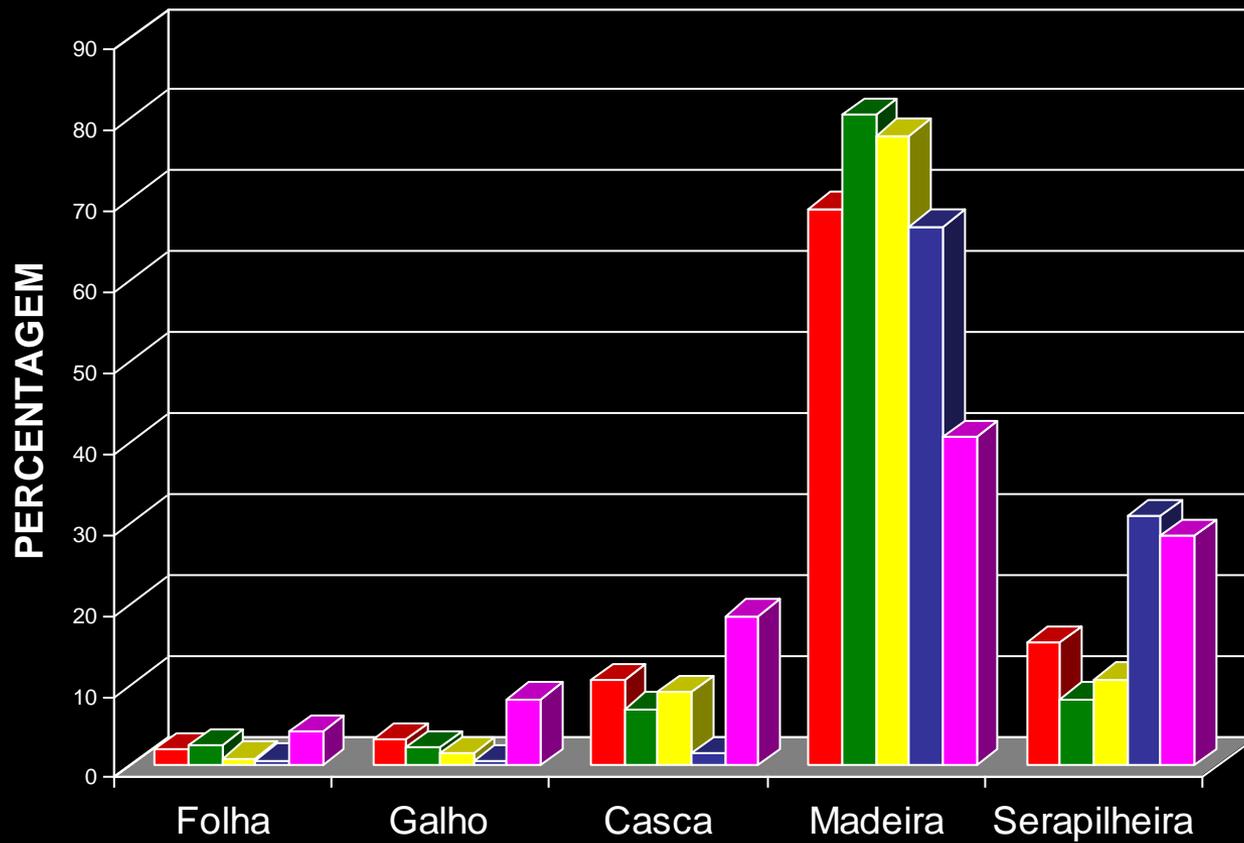
IDADE: início com 8 anos

SOLO: Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico textura média

VEGETAÇÃO NATIVA: Cerrado *senso strictu*

NUTR.	CONCENTRAÇÃO MÉDIA				RETRANSLOCAÇÃO MÉDIA DE NUTRIENTES ANTES DA DEPOSIÇÃO			
	Folhas decíduas	Folhas normais	Galhos decíduos	Galhos normais	FOLHA		GALHO	
	g kg ⁻¹				%	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹	%	kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
N	6,2	18,3	2,9	4,7	79	66	67	10
P	0,3	0,6	0,2	0,3	67	2	66	1
K	2,9	9,7	1,8	7,5	81	36	87	21
Ca	6,9	4,3	4,3	2,3	0	0	0	0
Mg	2,2	2,8	0,9	0,9	51	7	48	1
	mg kg ⁻¹				%	g ha ⁻¹ ano ⁻¹	%	g ha ⁻¹ ano ⁻¹
B	29	22	19	17	18	18	38	21
Zn	8	23	8	13	79	83	66	27
Cu	7	7	11	7	37	12	17	4
Fe	182	160	142	110	28	209	30	105
Mn	724	530	559	637	14	346	52	1068

¹ TAXAS DE RETRANSLOCAÇÃO DE NUTRIENTES:
 $TR = \{1 - [(CND/CCD)/(CNN/CCN)]\} \times 100$



ESPÉCIE: *Eucalyptus grandis*

IDADE: 9 anos

SOLO: LVA, textura média

Q_{DE} TOTAIS DE MICRON.: 2,0 kg ha⁻¹ de B; 1,8 kg ha⁻¹ de Zn;

0,9 kg ha⁻¹ de Cu; 55,0 kg ha⁻¹ de Fe; e 22,9 kg ha⁻¹ de Mn

Decomposition rates of forest residues and soil fertility after clear-cutting of *Eucalyptus grandis* stands in response to site management and fertilizer application

J. H. T. ROCHA, E. R. G. MARQUES, J. L. D. M. GONÇALVES, A. HÜBNER, C. B. BRANDANI,
A. D. V. FERRAZ & R. M. MOREIRA

Forest Science Department, 'Luiz de Queiroz' College of Agriculture, University of São Paulo, Av. Pádua Dias, 11 - Piracicaba/SP - Brazil - CEP 13418-900, Piracicaba, SP, Brazil

Massa de resíduos florestais mantida sobre o solo

Trat. ⁽¹⁾	Folha		Galho		Casca		Miscelânea		Total
	t ha ⁻¹								
Todos resíduos	6,63	(0,59) ⁽²⁾	17,57	(2,40)	24,86	(1,74)	6,35	(2,12)	55,41 (5,27)
Apenas serapilheira	2,60	(0,41)	15,79	(0,71)	4,05	(1,55)	9,31	(0,97)	31,76 (2,60)

4 meses



1,5 ano pós-replanteio

T1- mantido todos resíduos



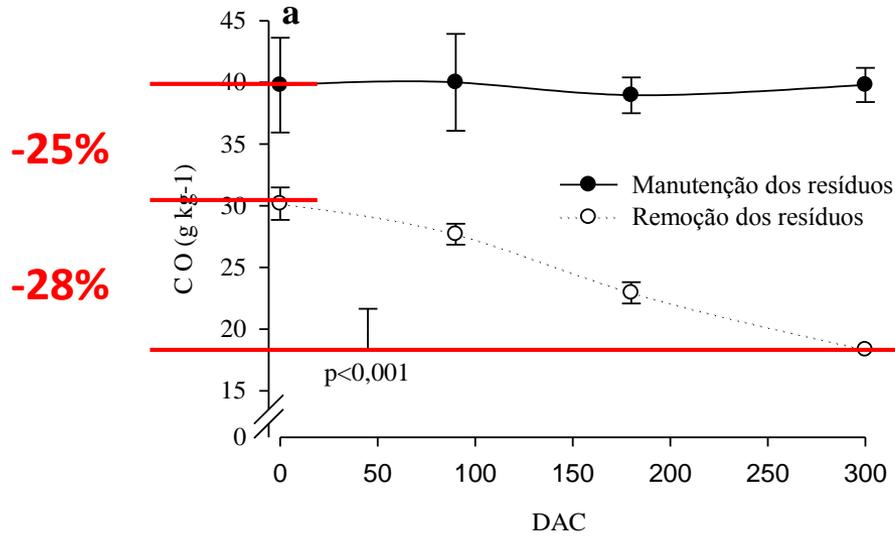
T3 – mantido apenas serapilheira



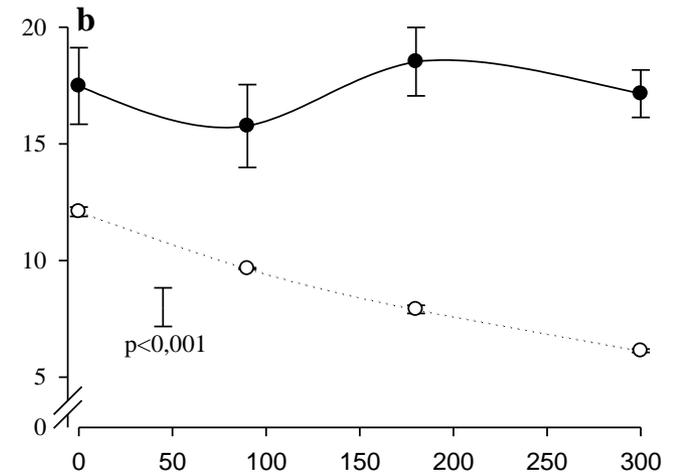
T4 – removido todos resíduos



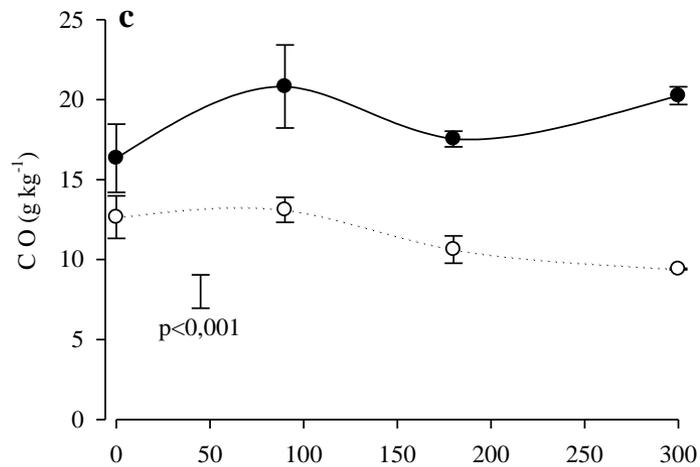
C oxidável a 0-5 cm do solo



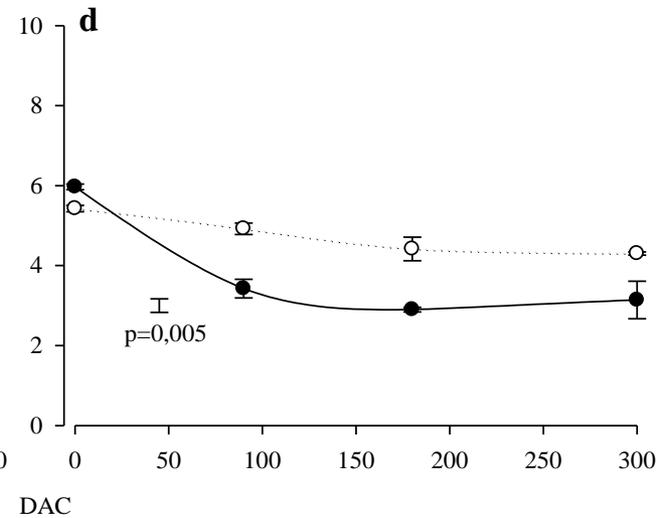
C facilmente oxidável



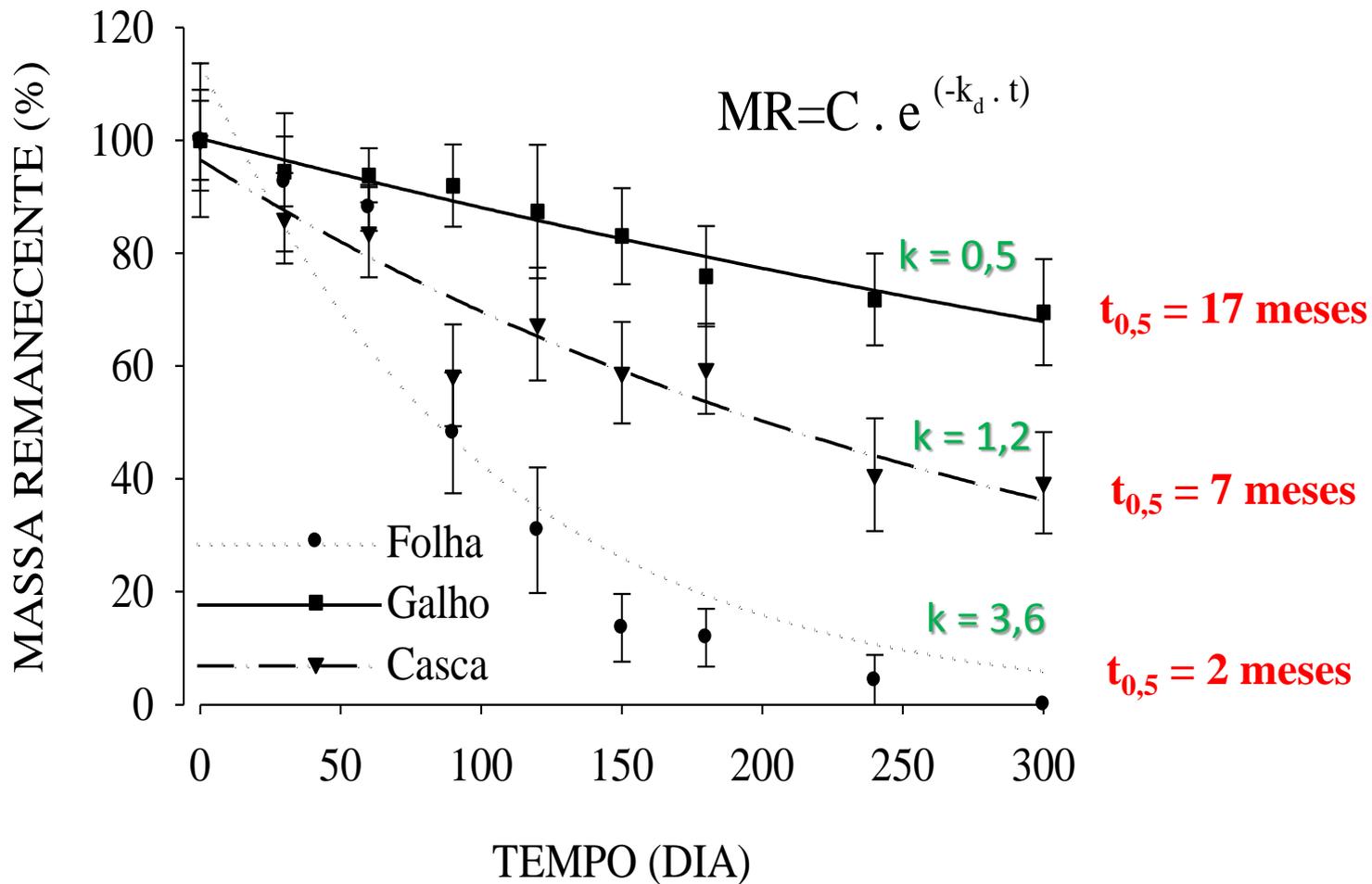
C medianamente oxidável



C dificilmente oxidável







Taxa de decomposição (k) das diferentes frações de resíduos da colheita (madeira descascada) *Eucalyptus grandis* colhido aos 8 anos Latossolo Vermelho Amarelo de textura média Itatinga, SP.

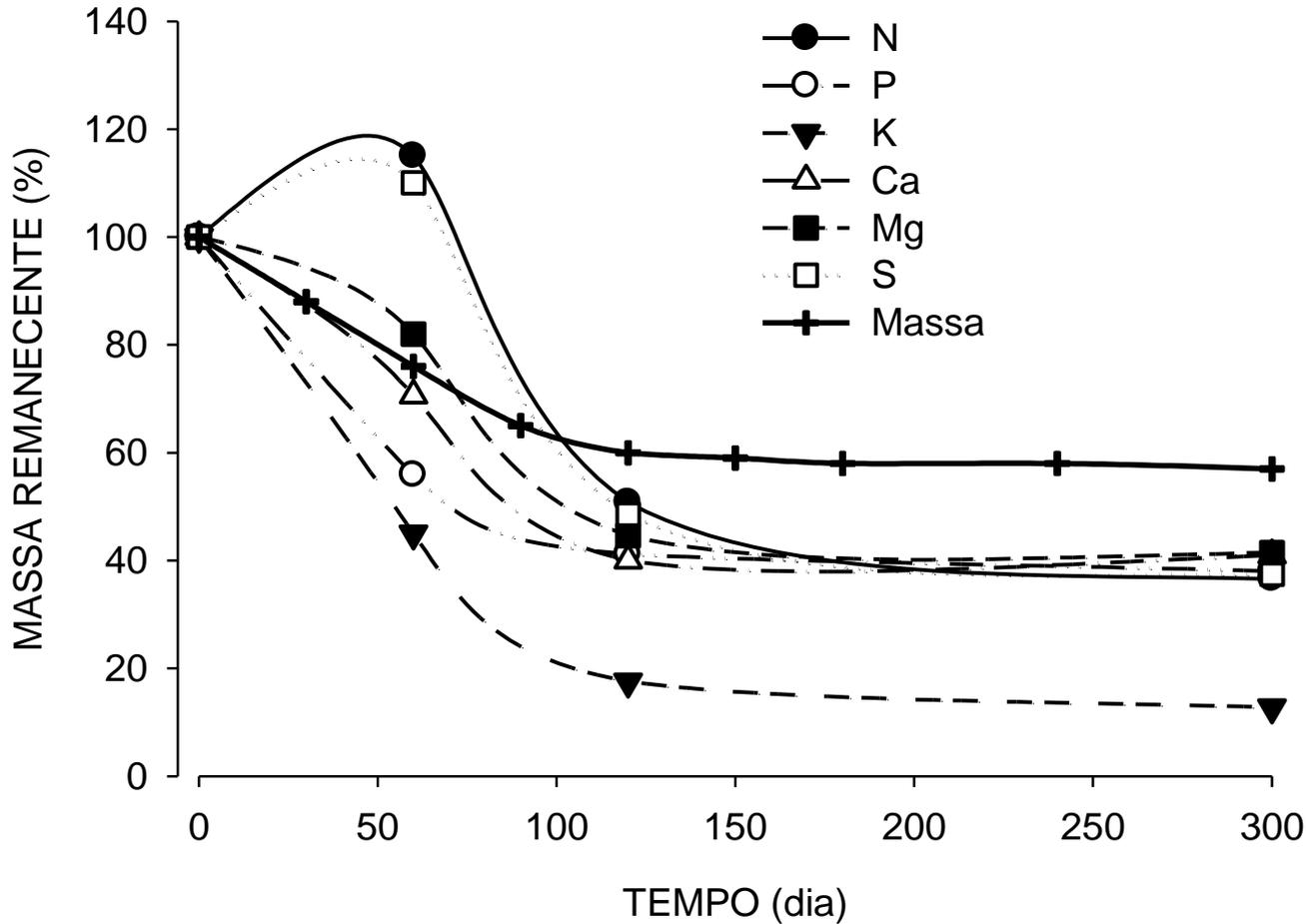
MR = massa remanescente de resíduo; C = massa inicial
 k = taxa de decomposição diária; t = tempo de decomposição

300 dias após a colheita

- liberação de aprox.

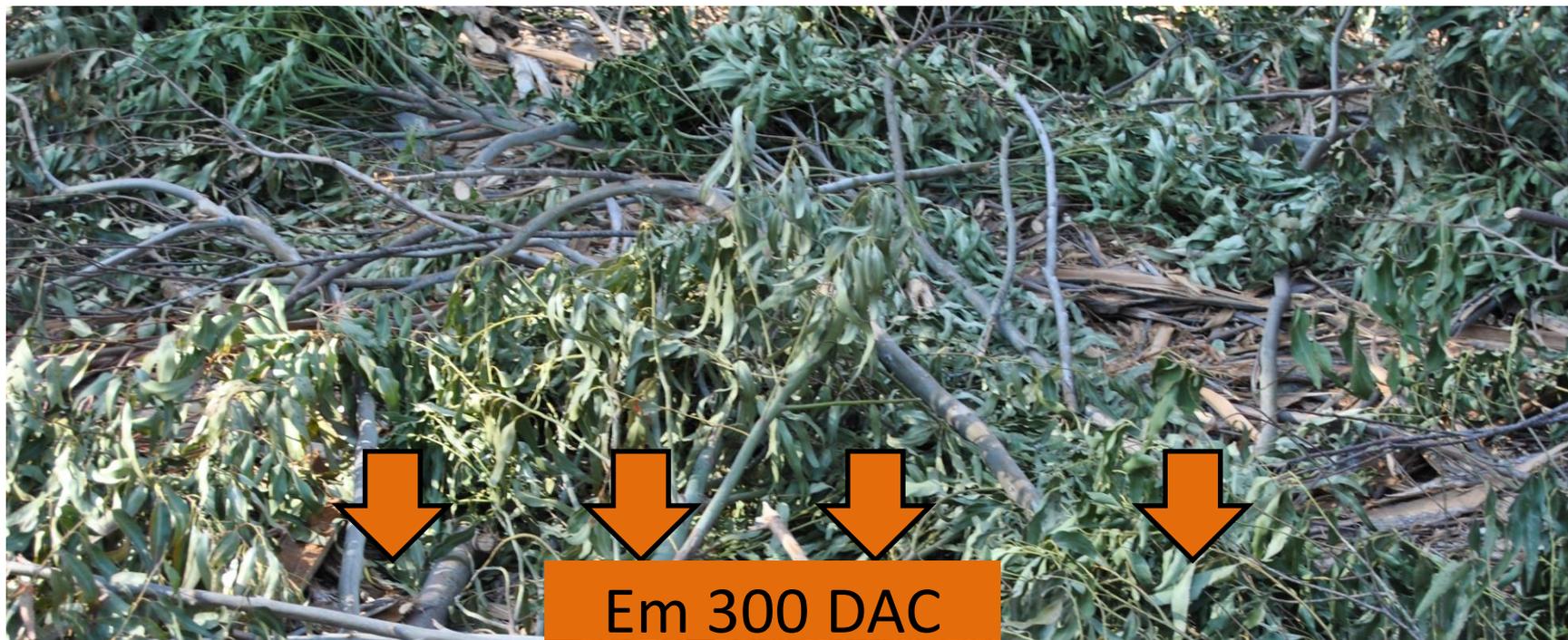
✓ 50% do N, P, Ca, Mg e S

✓ 80% do K



Velocidade de liberação dos nutrientes contidos nos resíduos da colheita (folhas, galhos, casca e serapilheira) de um povoamento de *Eucalyptus grandis* de 8 anos em uma Latossolo de textura média na região de Itatinga, estado de São Paulo.

Mineralização



Trat. ⁽¹⁾	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
Todos resíduos	177	14	67	118	22	12
Apenas serapilheira	60	8	3	33	8	5

**FRAÇÕES DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO APÓS TRÊS
DÉCADAS DE CULTIVO DE EUCALIPTO NO
VALE DO RIO DOCE-MG⁽¹⁾**

Augusto Miguel Nascimento Lima⁽²⁾, Ivo Ribeiro da Silva⁽³⁾, Júlio César Lima Neves⁽⁴⁾, Roberto Ferreira de Novais⁽⁴⁾, Nairam Félix de Barros⁽⁴⁾, Eduardo de Sá Mendonça⁽⁴⁾, Michelle de Sales Moreira Demolinari⁽⁵⁾ & Fernando Palha Leite⁽⁶⁾

R. Bras. Ci. Solo, 32:1053-1063, 2008

Quadro 1. Caracterização das áreas e dos povoamentos de eucalipto estudados

Município	Latitude	Longitude	Altitude	Solo	Temperatura média anual	Precipitação anual	Produção do eucalipto
	W	S	m		°C	mm	m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹
Belo Oriente	19°14′	42°24′	250	LVA	25	1.163	26
Virginópolis	18°42′	42°41′	850	LV	22	1.153	42

LVA: Latossolo Vermelho-Amarelo, LV: Latossolo Vermelho.

Quadro 2. Granulometria e densidade dos solos estudados

Vegetação	Tempo de cultivo	Profundidade	Areia	Silte	Argila	Densidade do solo
	ano	cm	g kg ⁻¹			g cm ⁻³
Virginópolis						
Mata		0-5	320	50	630	0,87
Mata		5-10	320	40	640	0,87
Mata		10-20	310	30	660	0,87
Pastagem		0-5	300	60	640	0,93
Pastagem		5-10	290	40	670	0,93
Pastagem		10-20	300	50	650	0,88
Eucalipto	33,2	0-5	260	50	690	0,90
Eucalipto	33,2	5-10	250	60	690	0,90
Eucalipto	33,2	10-20	230	60	710	0,95

	Profundidade	Mata nativa/pastagem	Mata nativa/eucalipto
	cm	t ha ⁻¹	
			Vegetação
COT ⁽¹⁾	0-5	26,02/15,98*	26,02/21,50*
	5-10	22,78/13,10*	22,78/16,88*
	10-20	33,46/24,09*	33,46/29,02 ^{ns}
			Substâncias Húmicas
			t ha ⁻¹
FAF ⁽⁸⁾	0-5	3,91/2,84*	3,91/3,78 ^{ns}
	5-10	3,83/2,85*	3,83/3,11*
	10-20	6,42/5,20*	6,42/6,11 ^{ns}
FAH ⁽⁹⁾	0-5	8,32/4,72*	8,32/6,46*
	5-10	7,43/3,32*	7,43/4,43*
	10-20	10,61/4,84*	10,61/8,26 ^{ns}
FH ⁽¹⁰⁾	0-5	12,39/5,95*	12,39/9,85*
	5-10	8,77/6,18*	8,77/7,85 ^{ns}
	10-20	13,88/11,64 ¹	13,88/12,98 ⁿ

FAF = Fração ácidos fúlvicos
FAH = Fração ácidos húmicos
FH = Fração huminas
* significativo a p = 5 %

Eucalyptus plantation effects on soil carbon after 20 years and three rotations in Brazil

Rachel L. Cook^{a,*}, Dan Binkley^{b,c,1}, Jose Luiz Stape^{a,d,2}

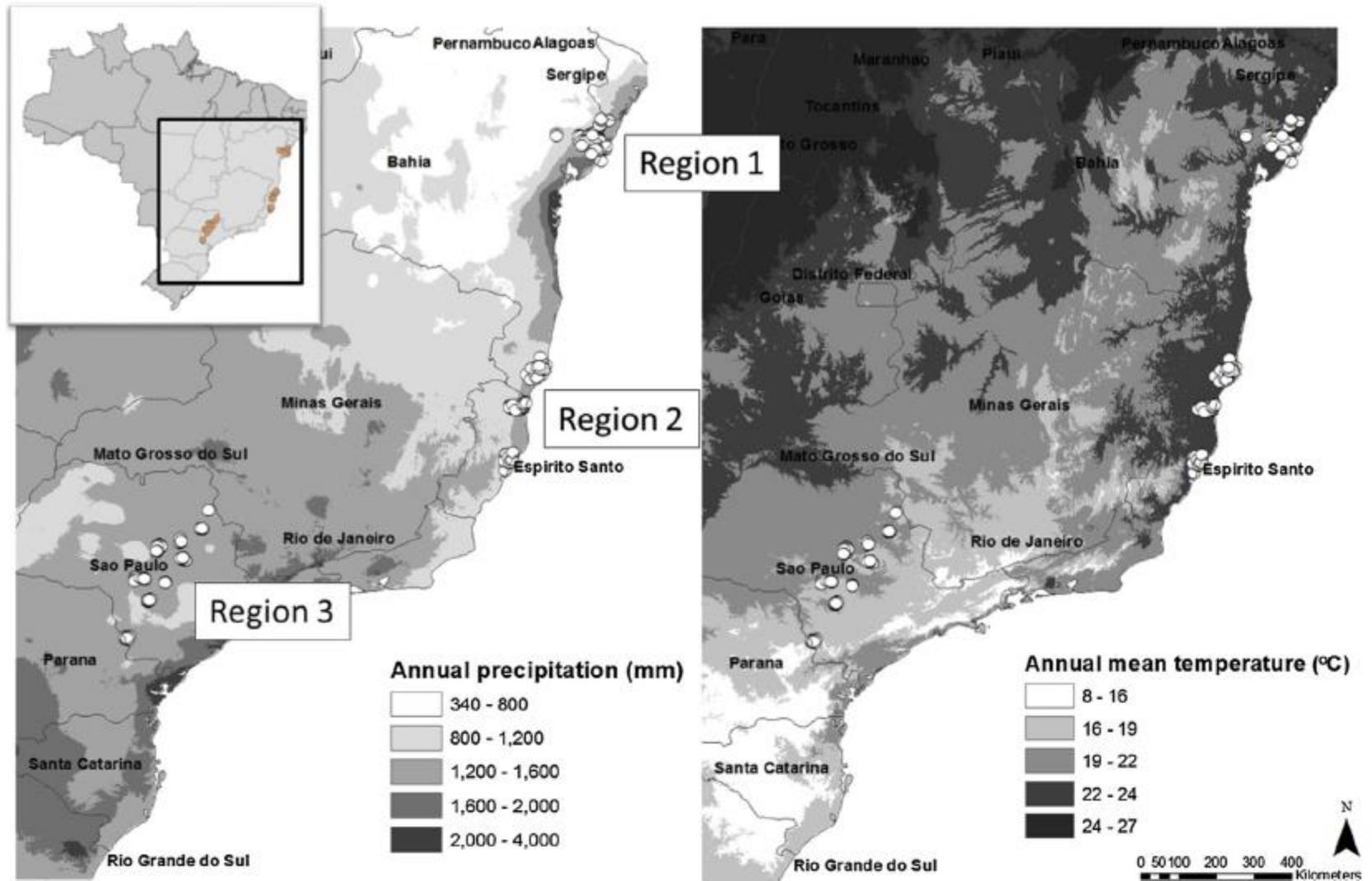
^a Department of Forestry and Environmental Resources, North Carolina State University, Raleigh, NC, United States

^b Department of Ecosystem Science and Sustainability, Colorado State University, Fort Collins, CO, United States

^c Department of Forest Ecology and Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden

^d Forest Technology, Suzano Pulp and Paper, Mucuri, Bahia, Brazil

Forest Ecology and Management 359 (2016) 92–98



Precipitation (left) and mean annual temperature (right) varies across the 306 field sites located in the states of Bahia (Region 1), Espírito Santo and southern Bahia (Region 2), and São Paulo (Region 3) in Brazil.

Table 1
Region averages for latitude, mean annual temperature, and mean wet and dry season precipitation for each study region.

Region	Latitude (°S)	Temperature (°C)	Season precipitation (mm)		Soil order (number of sites)		
			Dry	Wet	Entisol	Oxisol	Ultisol
1	12	25	503	1054	13	4	93
2	19	24	504	878	0	9	101
3	23	20	318	1044	45	51	14

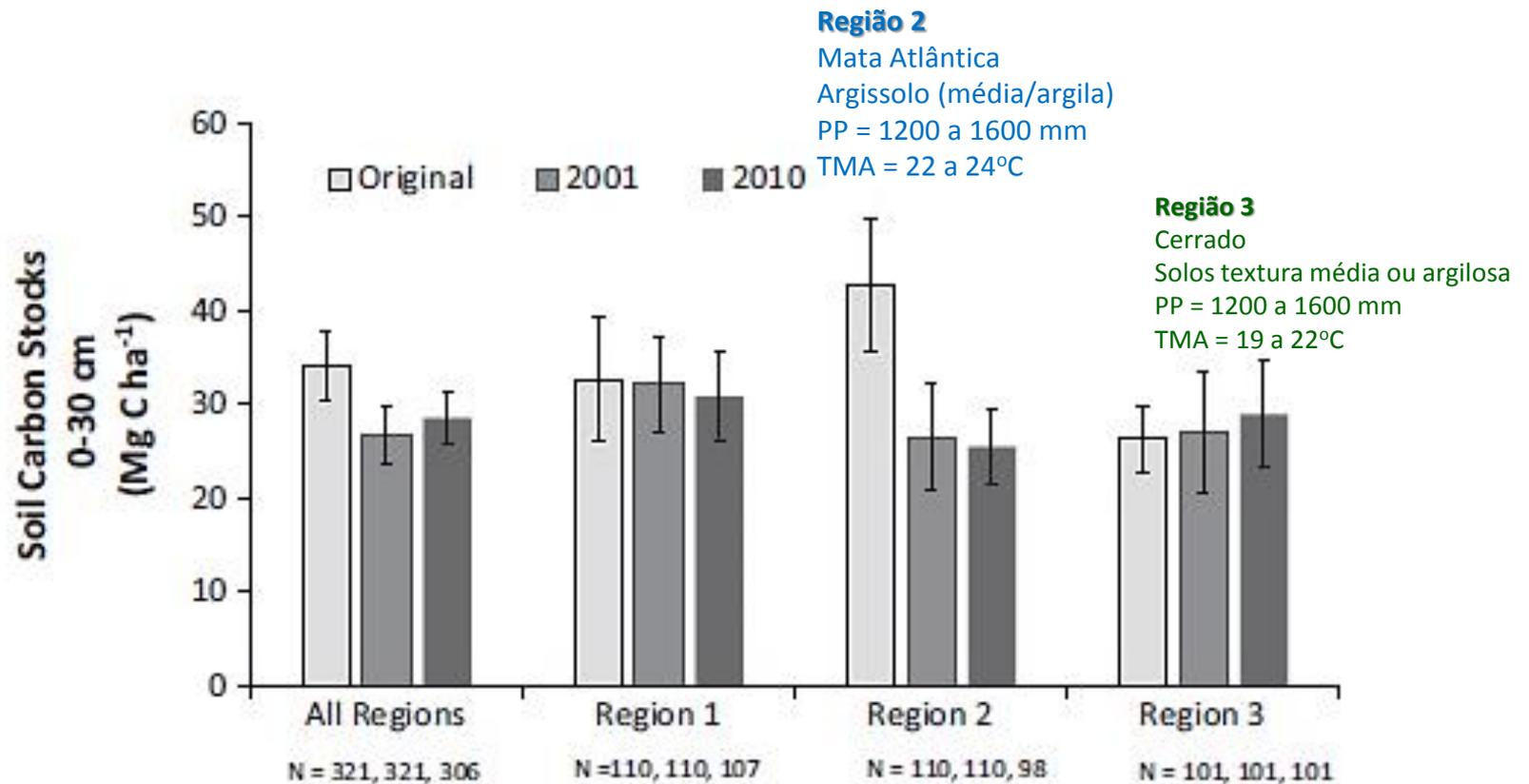


Fig. 2. Soil carbon stocks from 0 to 30 cm sampling depth under short-rotation *Eucalyptus* silviculture show soil carbon decreased from the original to 2001 sampling period, then increased from 2001 to 2010. There were different trends depending on region sampled. Error bars represent 95% confidence intervals for number of samples (N). Dates for the original sampling ranged from 1984 to 1993.

Ciclagem de Nutrientes em Plantações de Pinus

SÍTIO ALTA QUALIDADE

SÍTIO BAIXA QUALIDADE

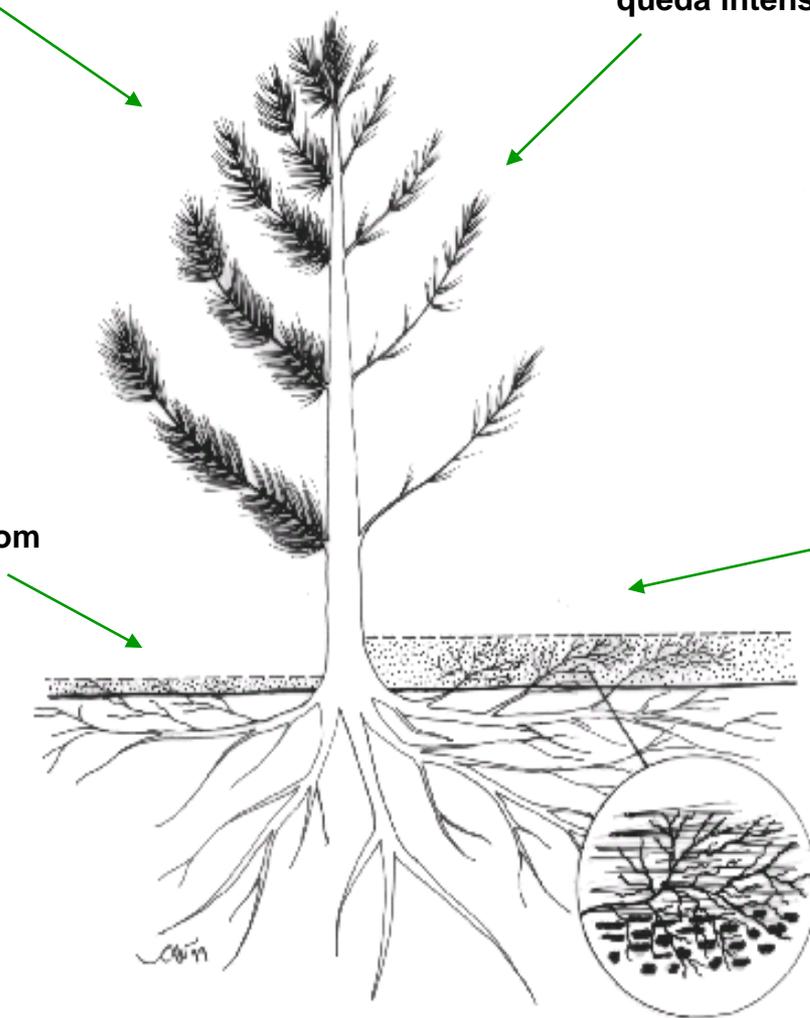
Pinus taeda

Copa vigorosa e densa

Copa transparente
queda intensa de acículas

Horizonte orgânico
pouco espesso (5 cm) com
alta atividade biológica

Horizonte orgânico
espesso (10-20 cm) com
grande invasão de raízes



Bom suprimento
de água

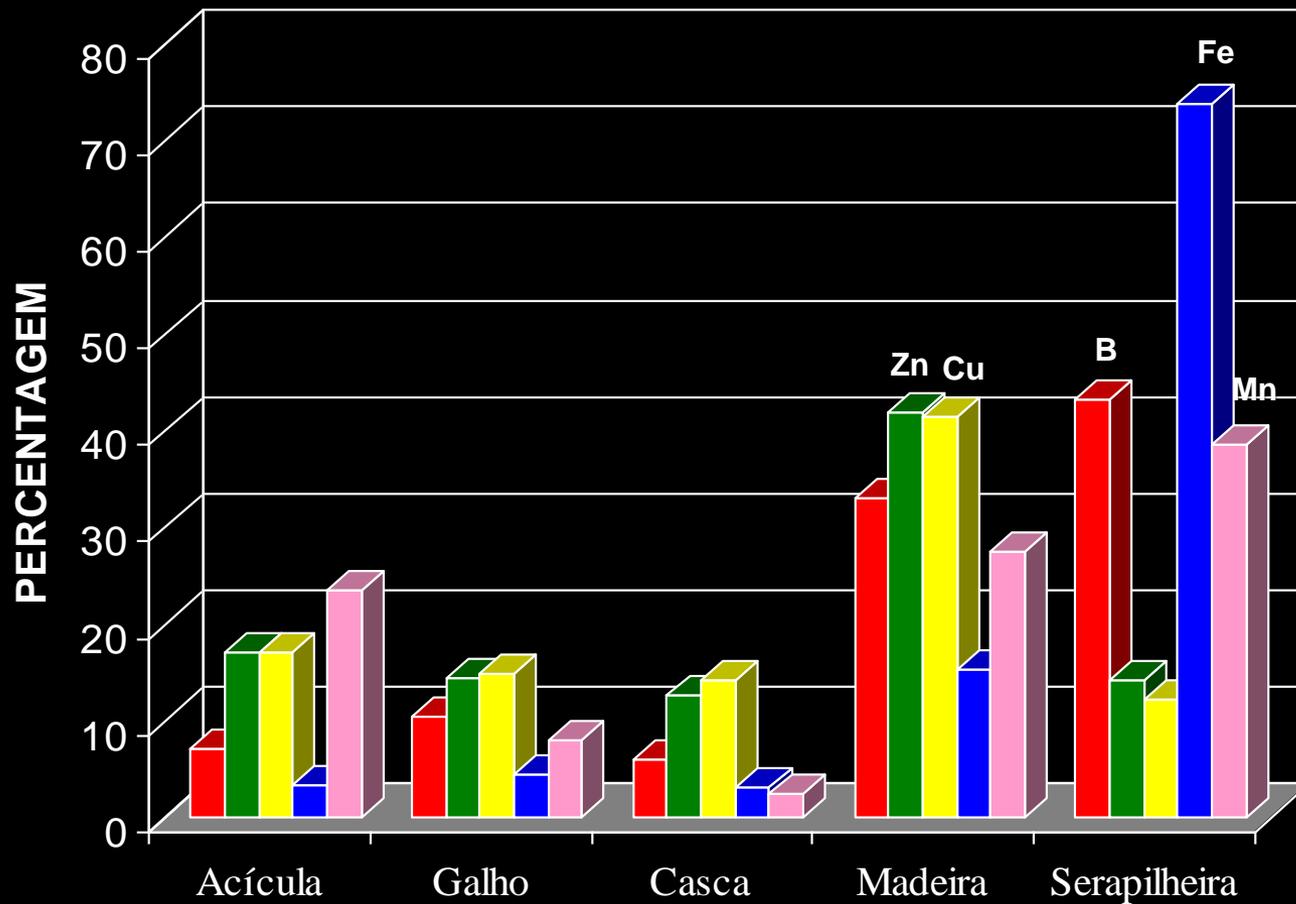
Drenagem
excessiva

L
F
H
Horizontes
orgânicos

Reissmann &
Vinieweski (2000)



Prof. Reismann (UFPr)



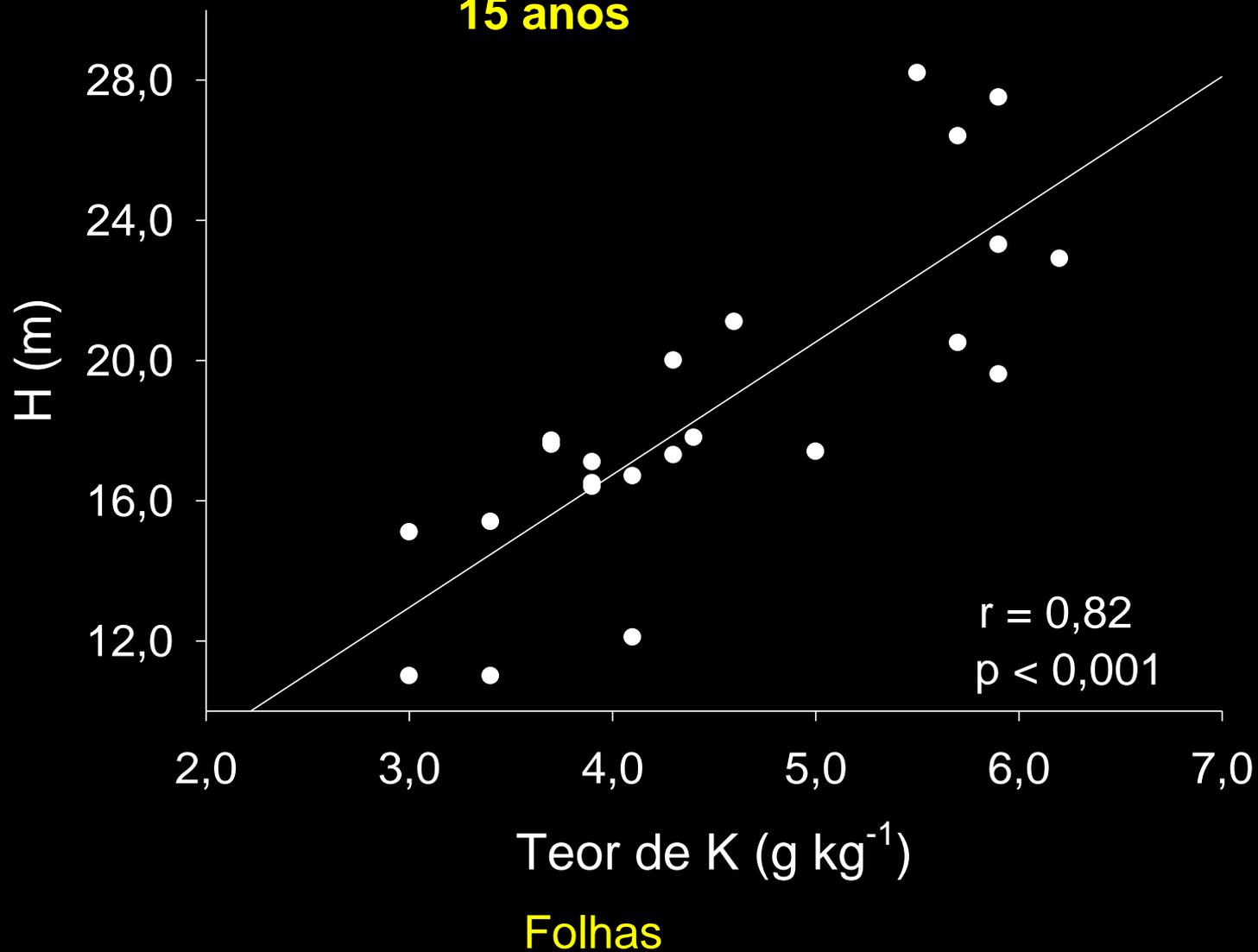
ESPÉCIE: *Pinus taeda*

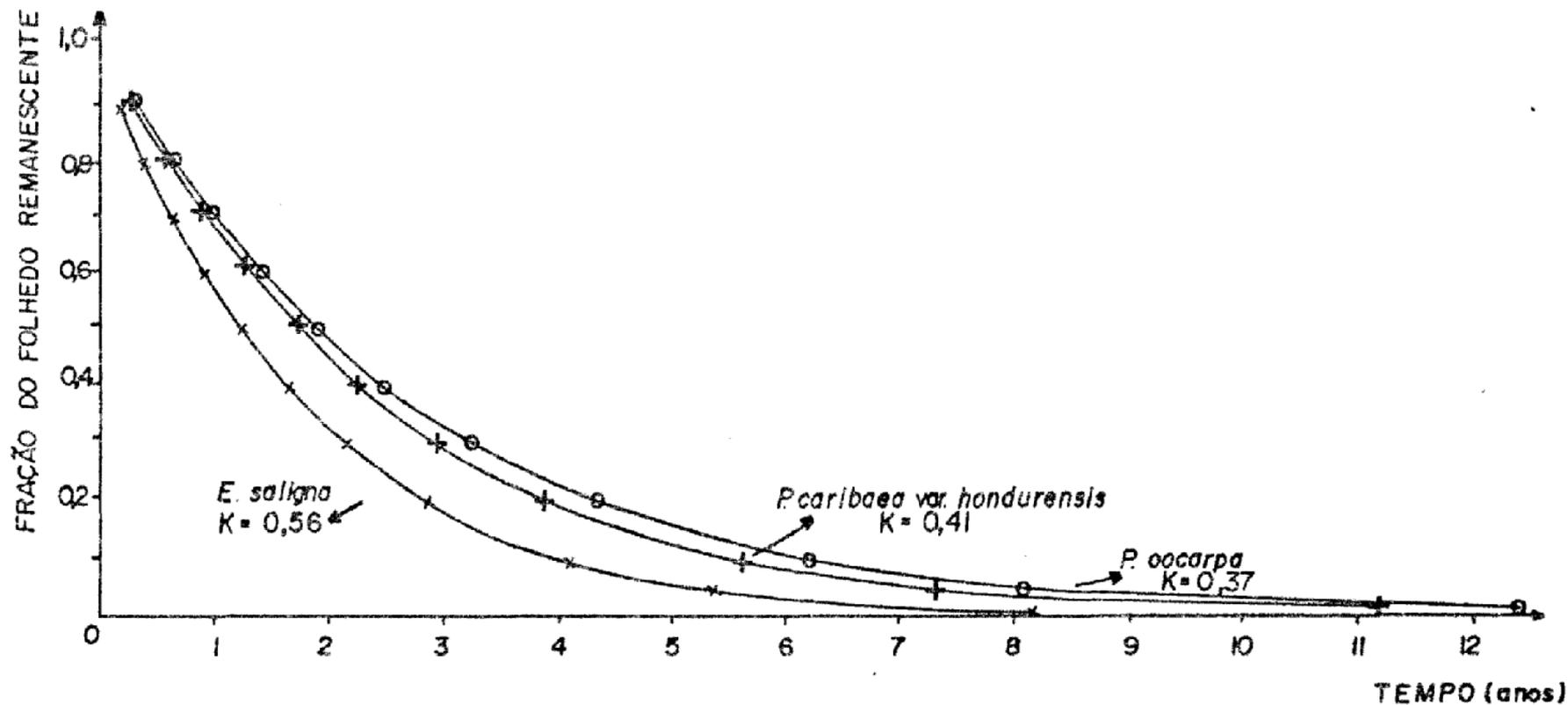
IDADE: 10 anos

SOLO: Argissolo Vermelho Distroférico, textura argilosa

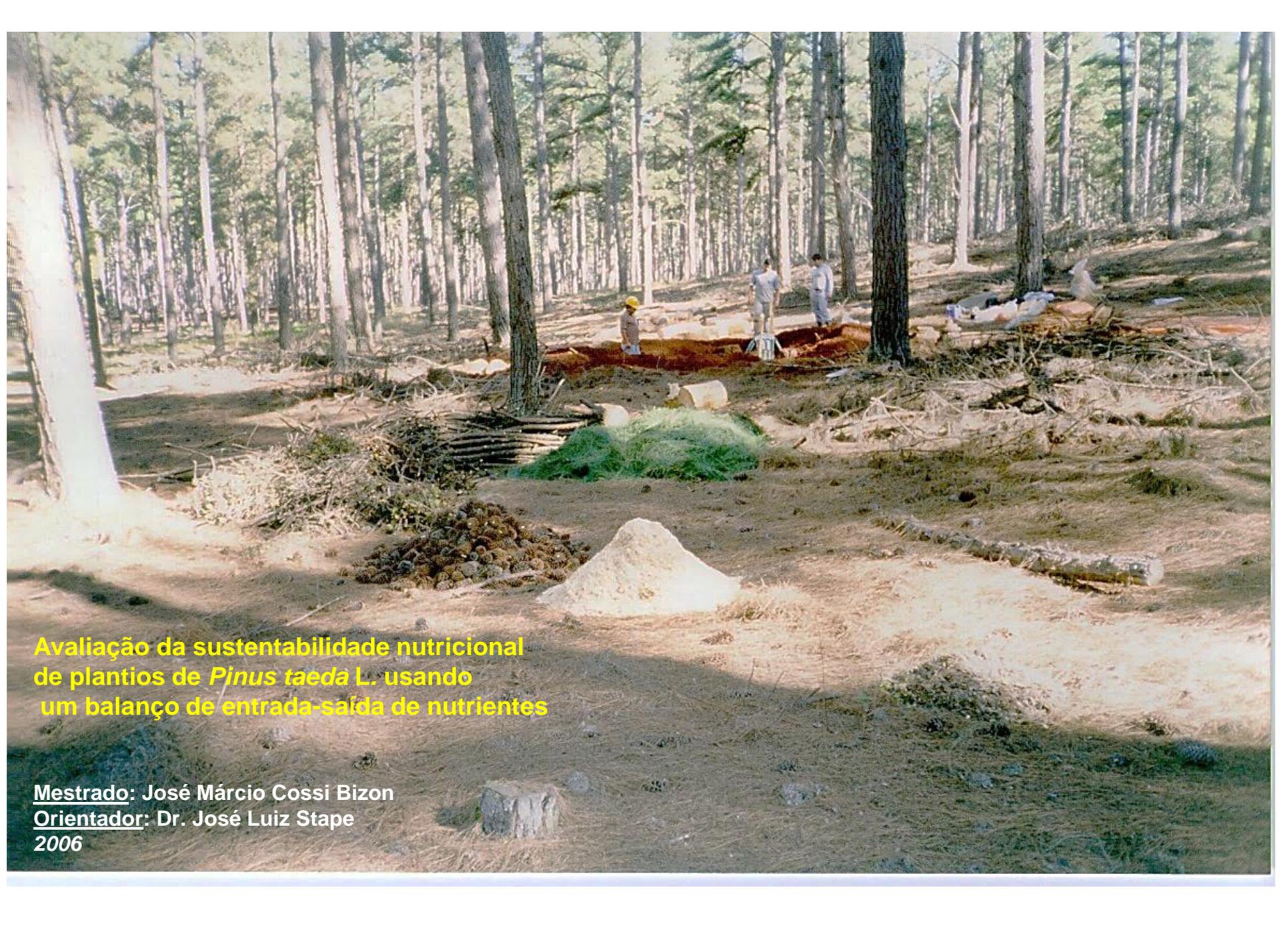
Q^{DE} TOTAIS DE MICRON.: 2,3 kg ha⁻¹ de B; 1,2 kg ha⁻¹ de Zn; 0,7 kg ha⁻¹ de Cu; 34,0 kg ha⁻¹ de Fe; e 12,8 kg ha⁻¹ de Mn

Pinus taeda
15 anos





Representação gráfica do tempo necessário para a decomposição de diferentes frações das folhas da serapilheira. O valor (K) representa a taxa instantânea de decomposição.

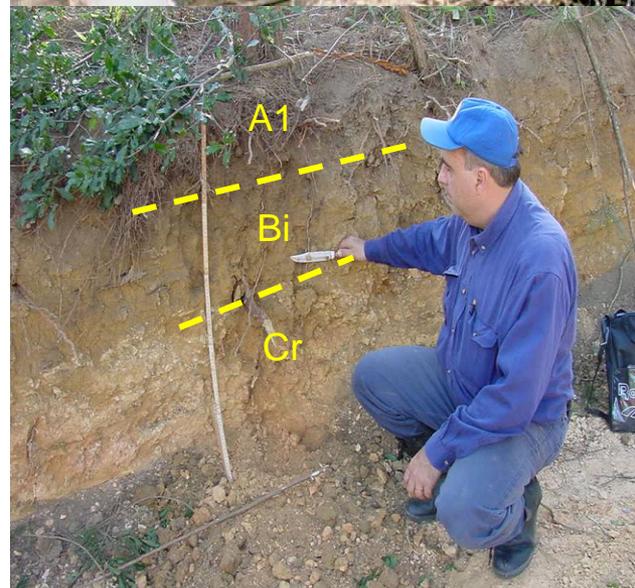


**Avaliação da sustentabilidade nutricional
de plantios de *Pinus taeda* L. usando
um balanço de entrada-saída de nutrientes**

Mestrado: José Márcio Cossi Bizon

Orientador: Dr. José Luiz Stape

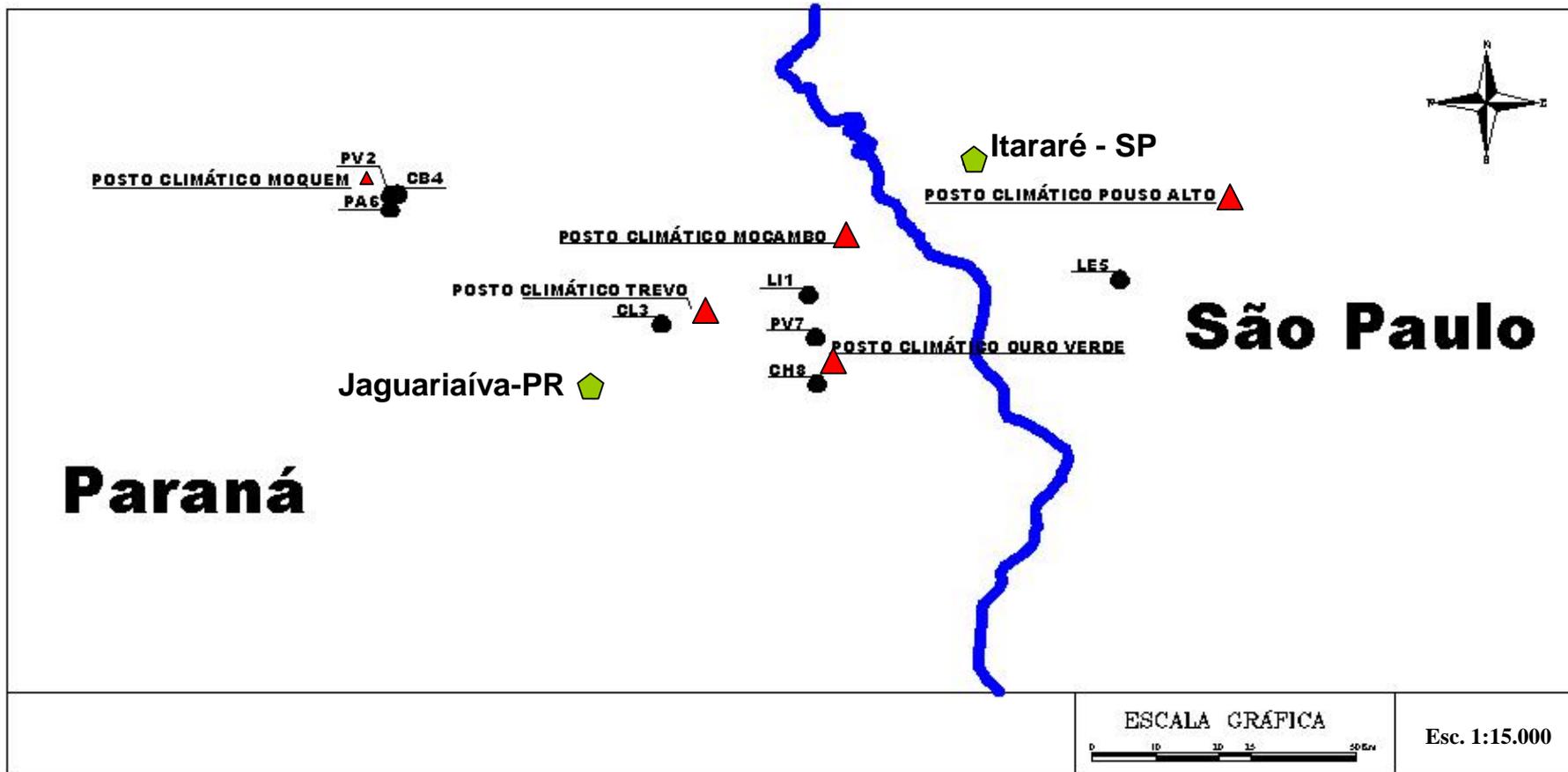
2006



Seleção dos sítios amostrais

Levantamento Expedito de solos - Diversidade de Solos Identificados

Grupo de solo	Solo	Sítio – Código
Grupo Paraná – Formação Furnas	Neossolo Litólico	LI18, LI19 , LI20
Grupo Paraná – Formação Furnas	Cambissolo Háptico	CL12 , CL13
Suítes Graníticas	Cambissolo Húmico	CH14, CH15, CH16
Suítes Graníticas	Argissolo Vermelho	PV04, PV05
Grupo Paraná – Formação Itararé	Cambissolo Háptico	CB17
Grupo Paraná – Formação Itararé	Argissolo Vermelho Amarelo	PV08 , PV09, PV10, PV11
Grupo Paraná – Formação Itararé	Argissolo Amarelo	PA06 , PA07
Grupo Paraná – Formação Itararé	Latossolo Vermelho	LE01 , LE02, LE03



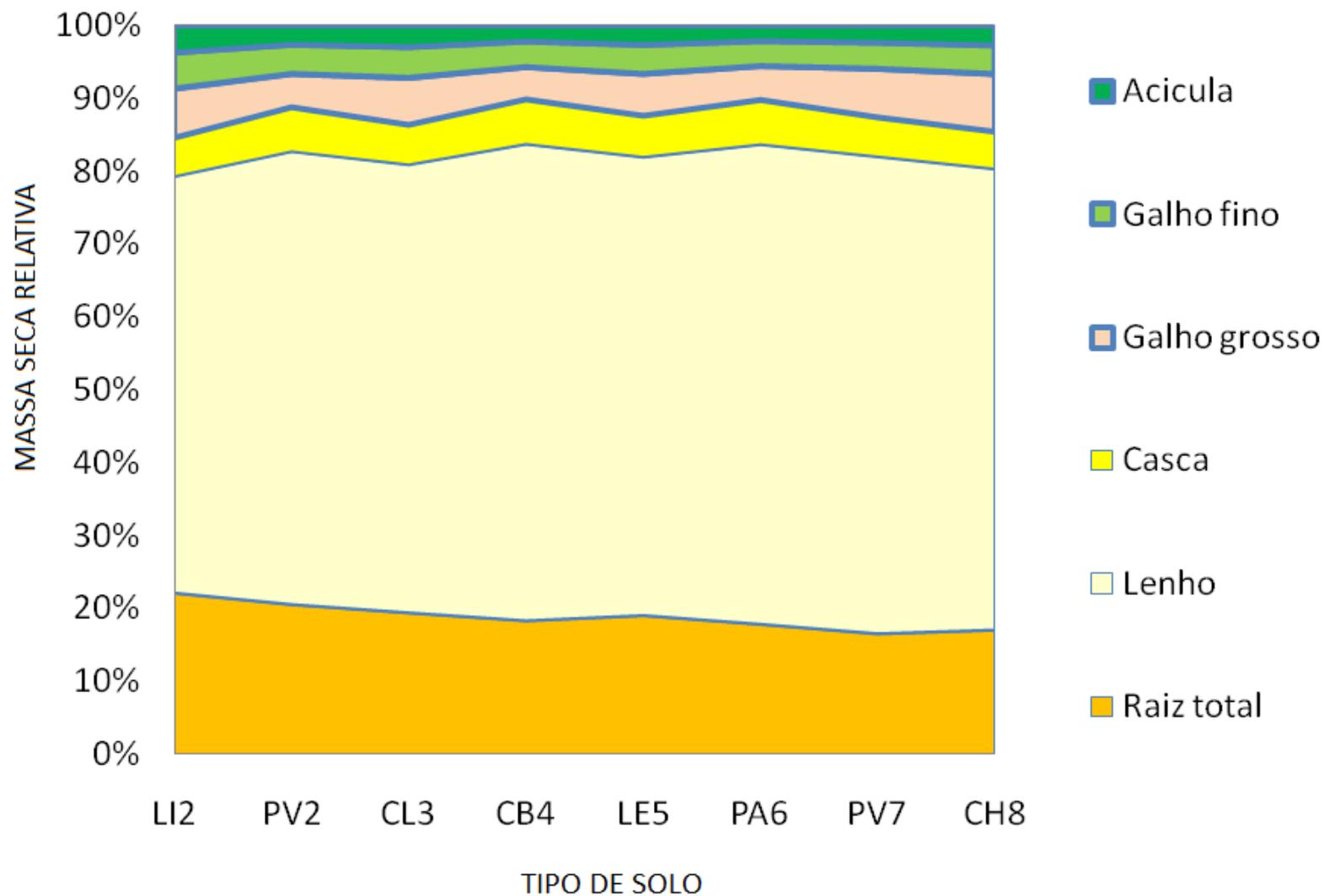
Localização dos oito sítios florestais

- Legenda:
- Sítios: ●
 - Municípios : ◀
 - Postos Climáticos: ▲
 - Divisa de Estado: —

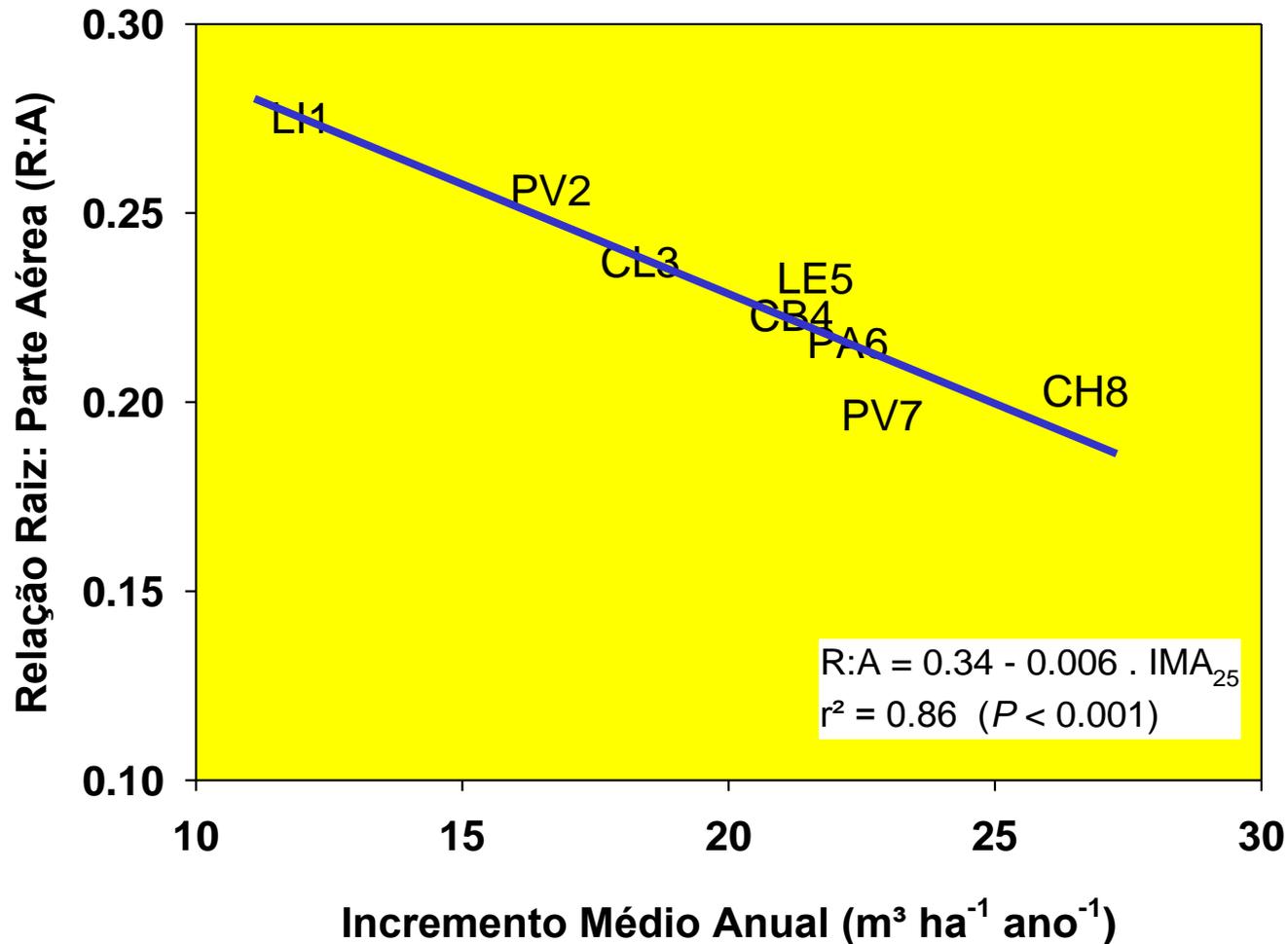
Produção de Biomassa (25 anos)

Sítio	Vol25	Lenho	Casca	Galho Grosso	Galho Fino	Acícula	Cone	Raiz Total
Sigla	m ³ ha ⁻¹	Mg ha ⁻¹						
LI1	299,4	170,0	15,9	19,8	14,7	11,2	7,6	65,7
PV2	416,6	207,3	20,4	15,1	13,4	8,9	2,6	68,5
CL3	458,4	221,1	19,8	22,9	15,2	10,8	4,4	69,7
CB4	529,5	230,8	21,8	15,5	12,5	7,8	1,6	64,6
LE5	540,8	249,0	22,6	22,2	15,8	10,7	3,3	75,3
PA6	555,9	235,7	22,0	16,5	12,4	7,7	1,6	63,8
PV7	572,0	246,9	20,5	24,9	13,6	9,0	2,3	62,3
CH8	667,6	297,0	24,2	36,8	18,5	13,0	5,1	80,0

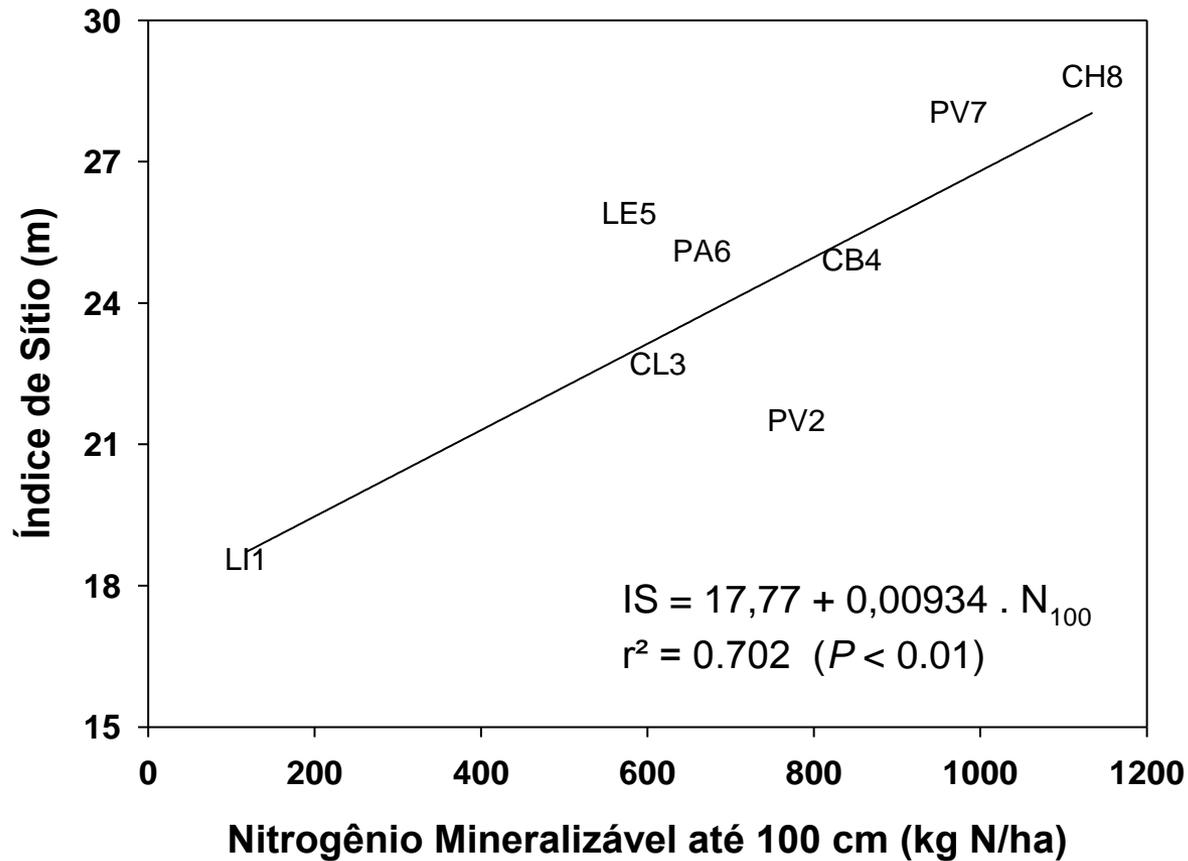
Contribuição relativa dos diferentes compartimentos



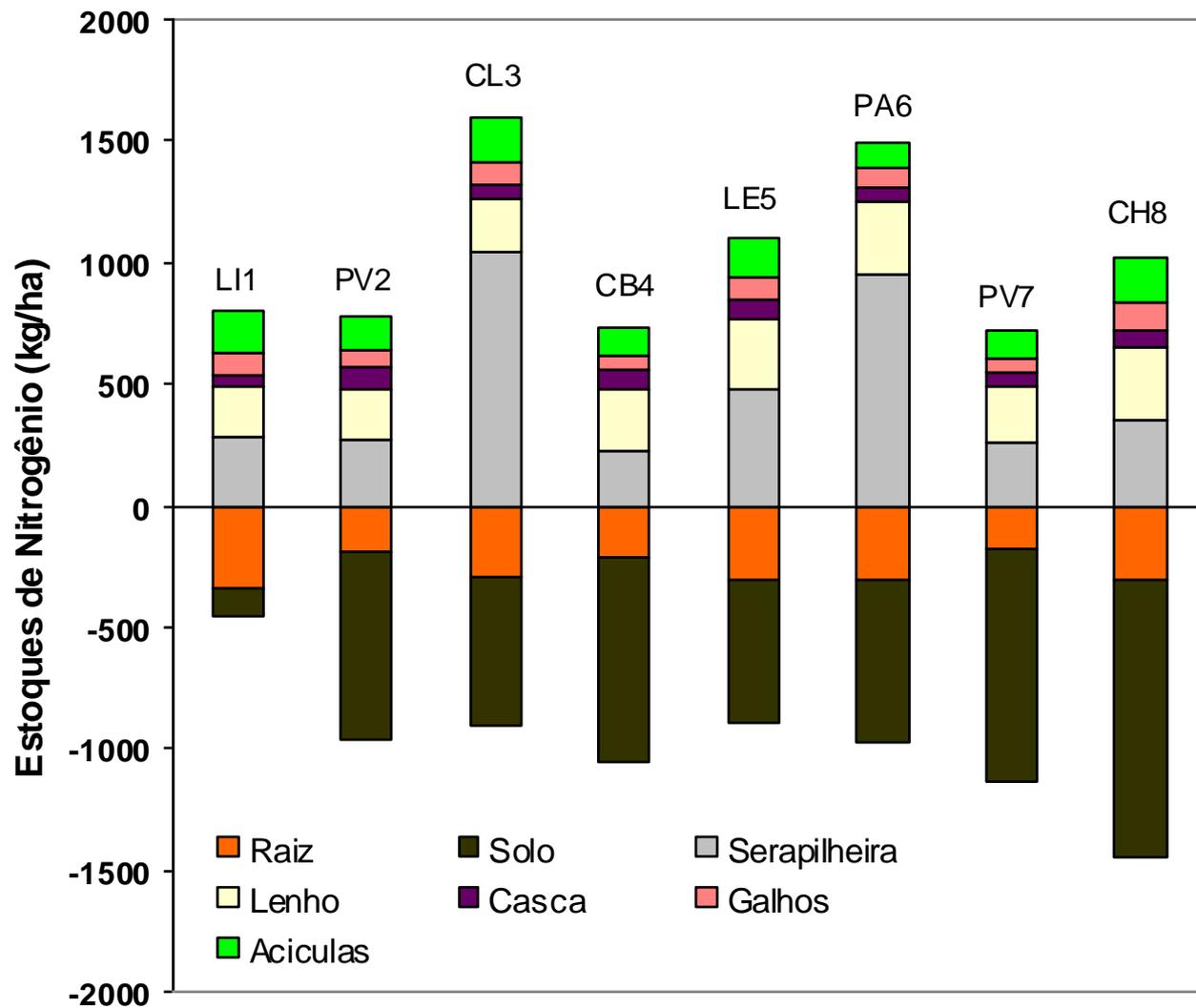
Relação Raiz:Aérea decrescente com a maior produtividade de recursos (produtividade)



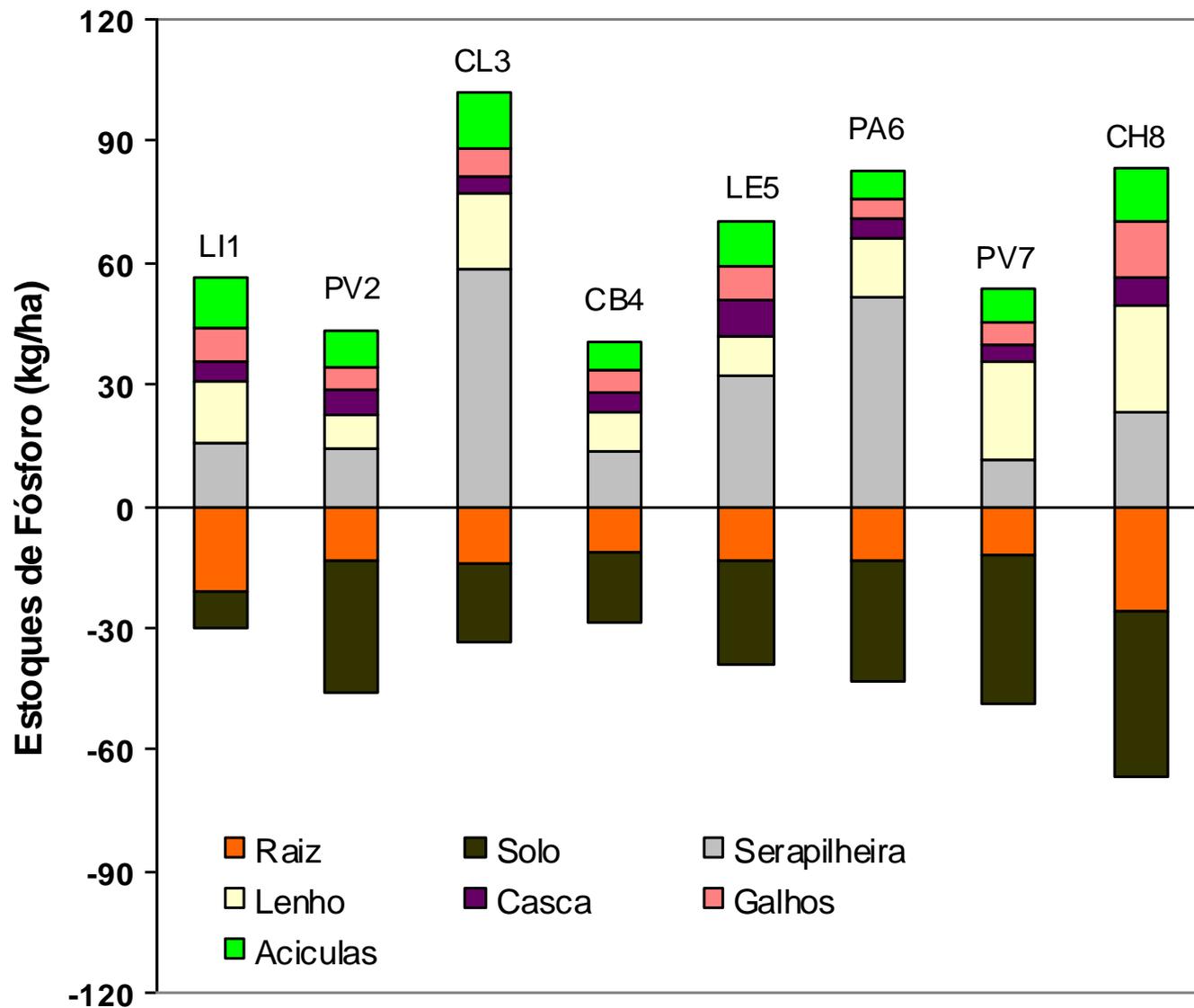
Relação Índice de Sítio / N mineralizável



Estoques Nutricionais - N



Estoques Nutricionais - P



SUSTAINABILITY OF WOOD PRODUCTIVITY OF *Pinus taeda* BASED ON NUTRIENT EXPORT AND STOCKS IN THE BIOMASS AND IN THE SOIL

Ricardo Michael de Melo Sixel^{(1)*}, José Carlos Arthur Junior⁽²⁾, José Leonardo de Moraes Gonçalves⁽³⁾, Clayton Alcarde Alvares⁽²⁾, Gabriel Ramatis Pugliese Andrade⁽³⁾, Antonio Carlos Azevedo⁽³⁾, James Stahl⁽⁴⁾ and Antônio Maurício Moreira⁽⁵⁾

R. Bras. Ci. Solo, 39:1416-1427, 2015

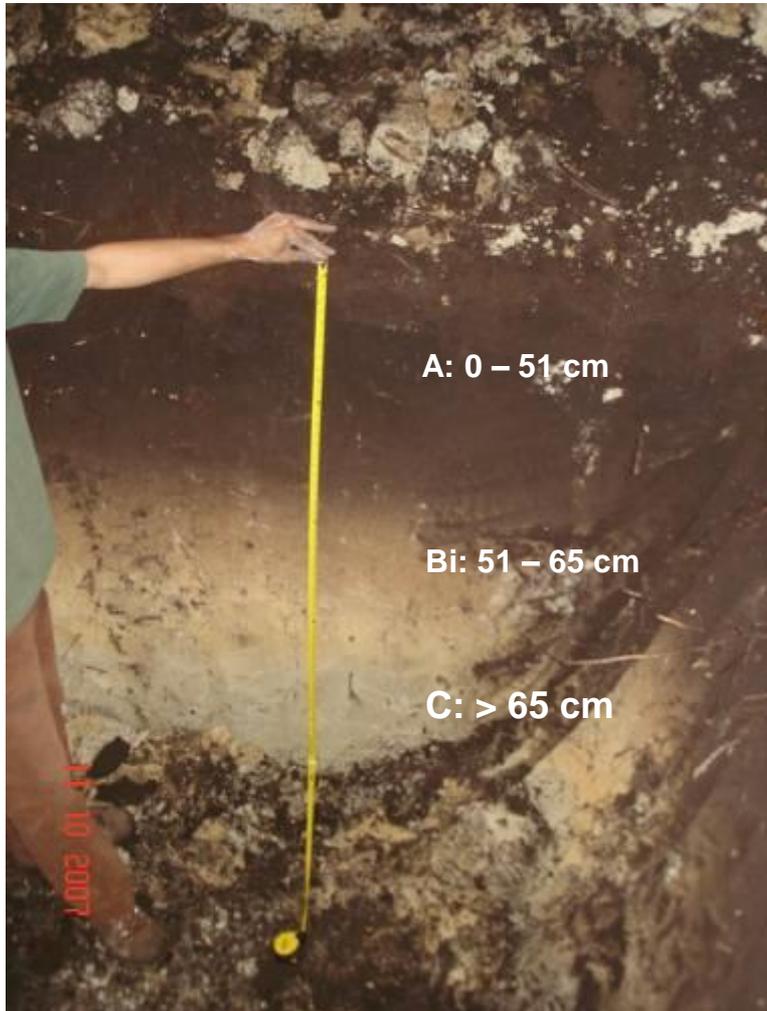
Rotação de cultivo: 16 anos (sem desbaste, sem poda)

Objetivo: celulose de fibra longa para embalagem



Otacílio Costa – SC

Cambissolo Húmico



-Textura argilosa

Table 3. Stock of nutrients available in different soil layers, in 16-year-old *Pinus taeda* stands collected in Otacilio Costa, SC, Brazil

Depth	N	P	K	Ca	Mg	S
m	kg ha ⁻¹					
0.00-0.20 ⁽¹⁾	351.0 ⁽²⁾	7.3	61.8	89.6	43.4	36.3
0.20-0.40	315.0	5.6	41.2	96.4	40.8	29.7
0.40-0.60	173.0	4.9	36.0	93.6	38.9	38.1
0.60-1.00	134.8	8.0	82.4	182.4	78.7	56.7
1.00-1.40	90.6	4.9	195.6	190.4	75.4	17.6
1.40-1.80	54.8	7.2	308.9	181.6	81.6	14.0
1.80-1.90	18.7	1.1	66.9	45.2	19.1	3.6
Sum	1,138.0	39.1	792.8	879.2	377.9	196.1

⁽¹⁾ Concentration of nutrients and density of the soil layer obtained at the midpoint of each layer. ⁽²⁾ Only N mineralization potential (Gonçalves et al., 2001).

Table 4. Biomass and amount of nutrients accumulated in the components in 16-year-old *Pinus taeda* stands collected in Otacílio Costa, SC, Brazil

Component	Biomass	N	P	K	Ca	Mg	S
	Mg ha ⁻¹						
Needle	7	116	7	27	15	4	6
Live branche	11	39	2	11	25	3	2
Dead branche	22	70	1	3	16	8	8
Bark	24	72	3	16	21	5	10
Wood	195	210	33	85	91	31	65
Root ⁽¹⁾	54	365	10	54	130	30	49
Litterfall	28	300	12	9	27	9	31
Total	341	1,172	68	205	324	90	172

⁽¹⁾ The depth of the primary coarser root (x, in m) is related to the total tree height (y, in m) according to equation: $\hat{y} = 7.33 + 6.44 x$ ($R^2 = 0.85$; $p < 0.0001$).

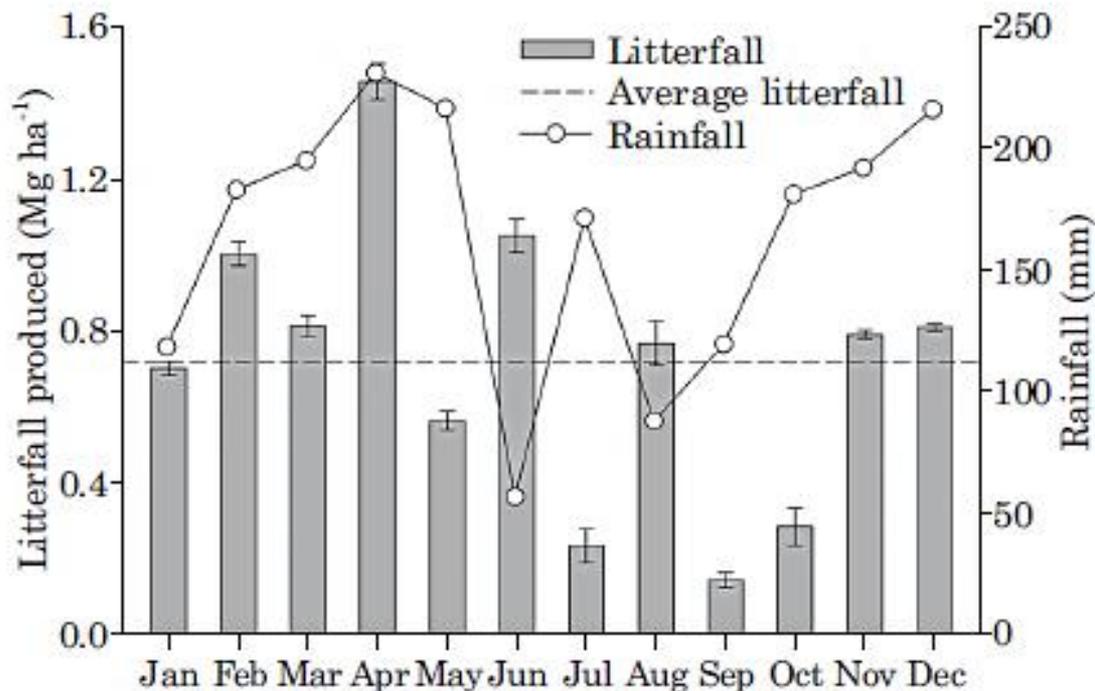


Figure 2. Monthly litter deposition and rainfall in 16-year-old *Pinus taeda* stands, in Otacilio Costa, SC, Brazil, January 2011 until December 2011.

Serapilheira deposita = 8,6 Mg ha⁻¹ ano⁻¹

acumulada = 27 Mg ha⁻¹

k = 0,3 (1/k = 3,2 anos)

Balanço e Sustentabilidade Nutricional

$NCF = (\text{estoque de nutriente no solo} + \text{estoque de nutrientes no sistema florestal}) - (\text{estoque de nutrientes retirados pelo sistema de manejo})$



Table 5. An estimated nutrient budget and potential number of 16-year rotations under three management scenarios for plantings of *Pinus taeda* established in a Humic Endo-lithic Dystrudept (Mean Annual Increment of 33 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ and total biomass of 341 Mg ha⁻¹)

Component	N	P	K	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹					
Initial nutrient stock in the soil (S; 0.00-1.90 m) ⁽¹⁾	1,138	39	792	879	377	196
Nutrient stock in biomass (Su)						
Needles	116	7	27	15	4	6
Branches (dead and live)	109	3	14	41	11	11
Wood	210	33	85	91	31	65
Bark	72	3	16	21	5	10
Litter	300	12	9	27	9	31
Roots	365	10	54	130	30	49
Sum	1,172	68	205	324	90	172
Nutrient output						
By removing wood (W)	210	33	85	91	31	65
By removing bark and wood (B)	282	36	101	112	36	75
By removing wood, bark, needles, and branches (AT)	507	46	142	167	51	92
Nutrient input by rainfall (R)	47	3	55	115	25	0
	Nutrient budget ⁽²⁾					
Scenario A: (S + Su) - (W) + (R)	2,026	69	742	996	364	263
Scenario B: (S + Su) - (W + B) + (R)	1,954	65	726	975	359	252
Scenario C: (S + Su) - (AT) + (R)	1,729	55	684	919	344	235
Potential number of sixteen-year rotations						
Scenario A (remoção de madeira)	>8	3	6	>8	6	4
Scenario B (remoção de madeira e casca)	>8	3	5	>8	5	3
Scenario C (remoção de madeira, casca e copas)	7	2	3	5	3	3

⁽¹⁾ Only potentially mineralizable N (Gonçalves et al., 2001), resin-extractable P, and exchangeable K, Ca, and Mg; ⁽²⁾ Nutrients remaining at the site after the first 16-year rotation.

Aplicações da ciclagem de nutrientes

“Cultivo Mínimo do Solo”

(desde 1988)

- Estabelecido no Brasil no fim da década de oitenta
- Atualmente, cobre cerca de 90% das áreas de plantações florestais

Princípio 1

Manutenção dos resíduos vegetais sobre o solo

(serapilheira, resíduos da colheita, biomassa de plantas daninhas)

Folhas e galhos

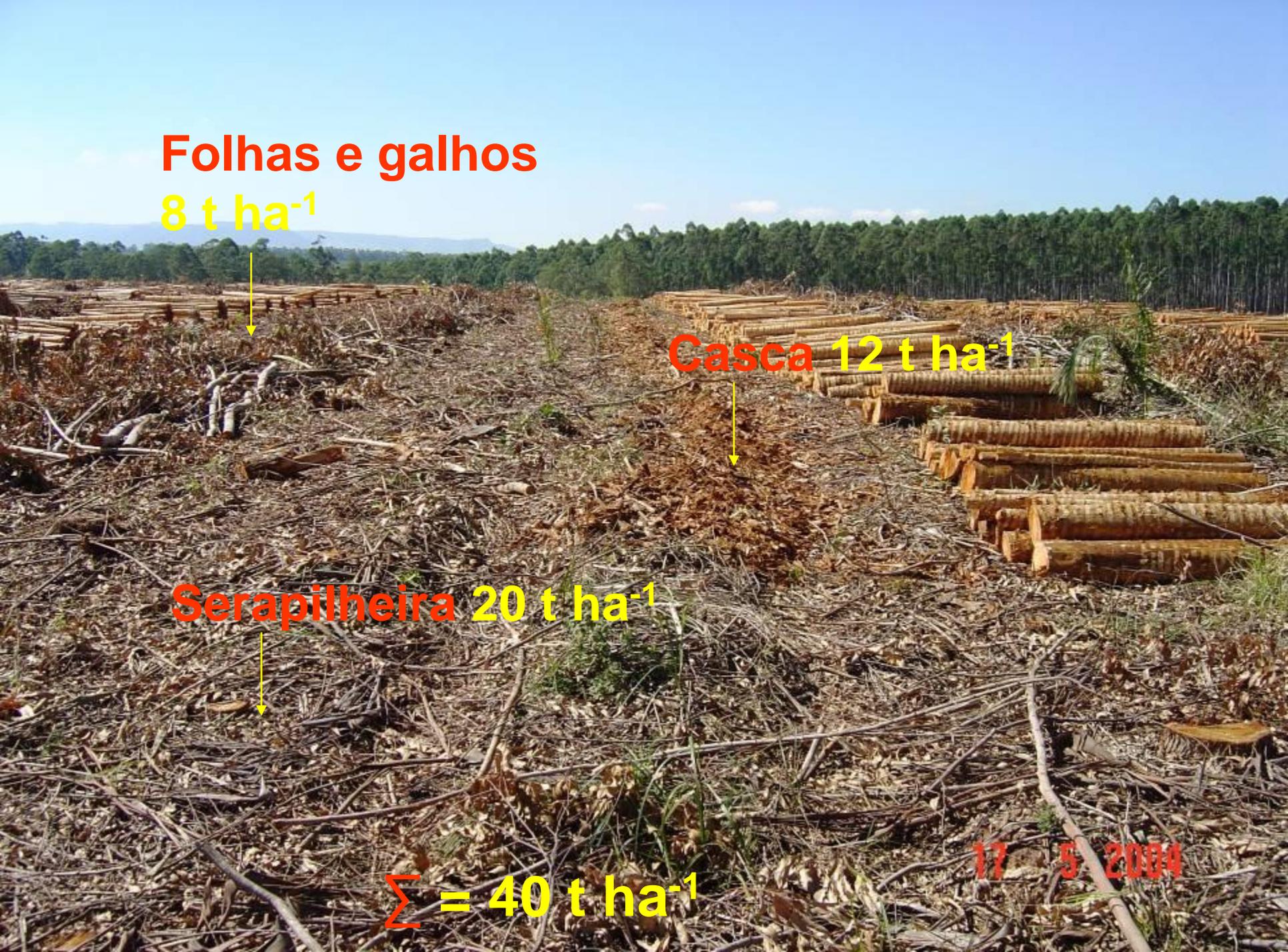
8 t ha⁻¹

Casca 12 t ha⁻¹

Serapilheira 20 t ha⁻¹

$\Sigma = 40 \text{ t ha}^{-1}$

17 5 2004



Princípio 2

Preparo de solo restrito na linha de plantio

Limpa Trilho



Deslocamento de resíduos sobre o leito de plantio antes da subsolagem

Se houver pequena quantidade de resíduos sobre o terreno, o uso do limpa-trilho pode ser conjugado com o subsolador.



TRAMATERRA 1145

linha de plantio

1 m

29 3 2004



A haste do subsolador possui uma sapata que, ao deslocar, promove uma tensão de cisalhamento no solo à sua frente. Esta tensão propaga-se até a superfície do solo num ângulo de 45° , gerando uma seção triangular de solo desadensado. O preparo de solo é embutido, sem exposição de camadas revolvidas de solo na superfície.



Eucalyptus grandis vs. *urophylla*

5 meses pós-plantio



LV argiloso (50% arg.)



Sistema Conservacionista
< 30% solo exposto





Cultura anual

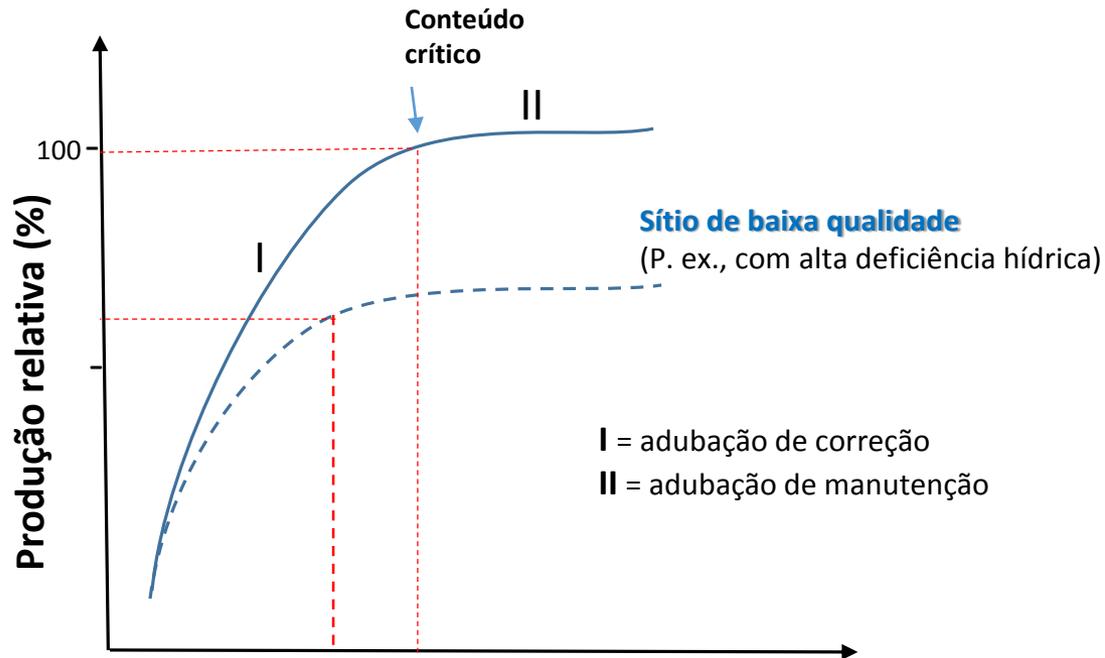
Arações anuais

E. grandis

Cultivo mínimo



Balanço Nutricional e Sustentabilidade da Produção



Conteúdo nutricional (kg ha⁻¹)

- ✓ Solo e resíduos vegetais
- ✓ Precipitação atmosférica
- ✓ Liberado pelo intemperismo

- A calagem e a adubação não alteram substancialmente a fertilidade do solo, mas o estoque de nutrientes do ecossistema.
- Devido ao longo de cultivo, as espécies florestais assimilam nutrientes oriundos da ciclagem e do intemperismo.



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

Forest Ecology and Management

journal homepage: www.elsevier.com/locate/foreco



Forest residue maintenance increased the wood productivity of a *Eucalyptus* plantation over two short rotations



José Henrique Tertulino Rocha^{a,*}, José Leonardo de Moraes Gonçalves^a, José L. Gava^b,
Tiago de Oliveira Godinho^c, Eduardo A.S.C. Melo^d, José Henrique Bazani^e, Ayeska Hubner^a,
José C. Arthur Junior^f, Marcos P. Wichert^g

^a University of São Paulo, 'Luiz de Queiroz' College of Agriculture, Department of Forest Science, Piracicaba, Brazil

^b Suzano Pulp and Paper S.A., Itapetininga, SP, Brazil

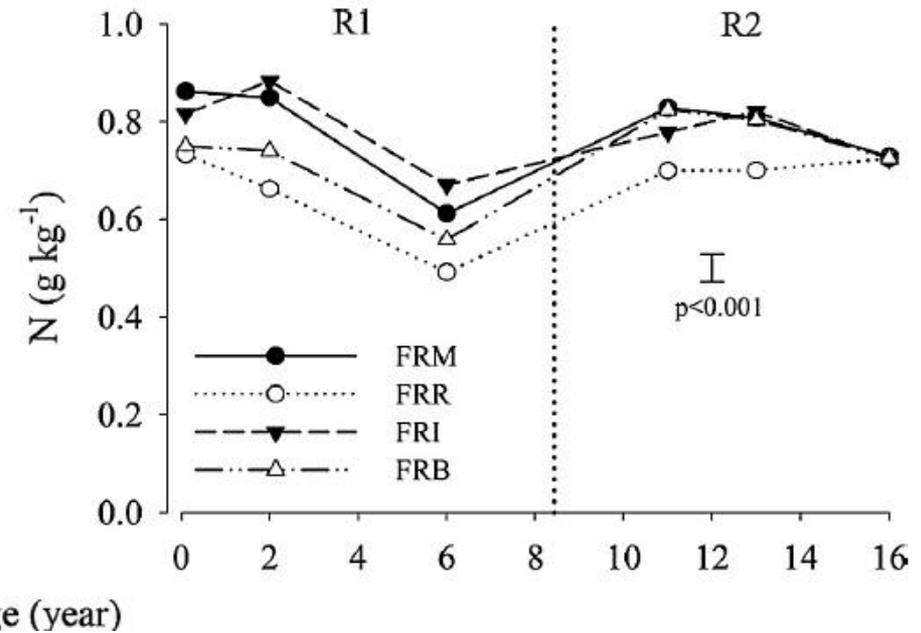
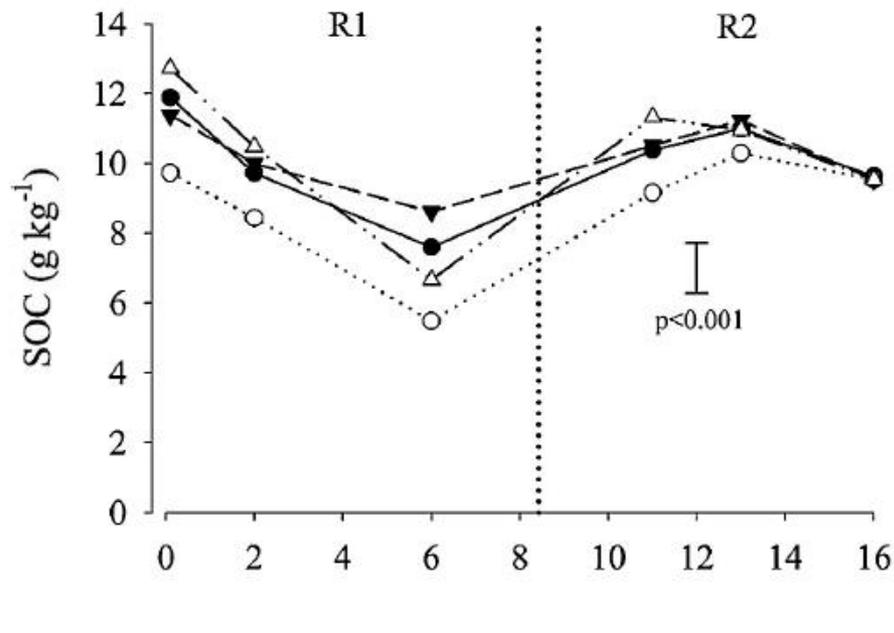
^c Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, Venda Nova do Imigrante, Brazil

^d Asia Pulp and Paper, Perawang, Indonesia

^e 4tree Agroflorestal, Piracicaba, Brazil

^f Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Brazil

^g Fibria, Jacareí, Brazil



Treatments:

FRM - All forest residues were maintained on the soil, only stem wood harvest,

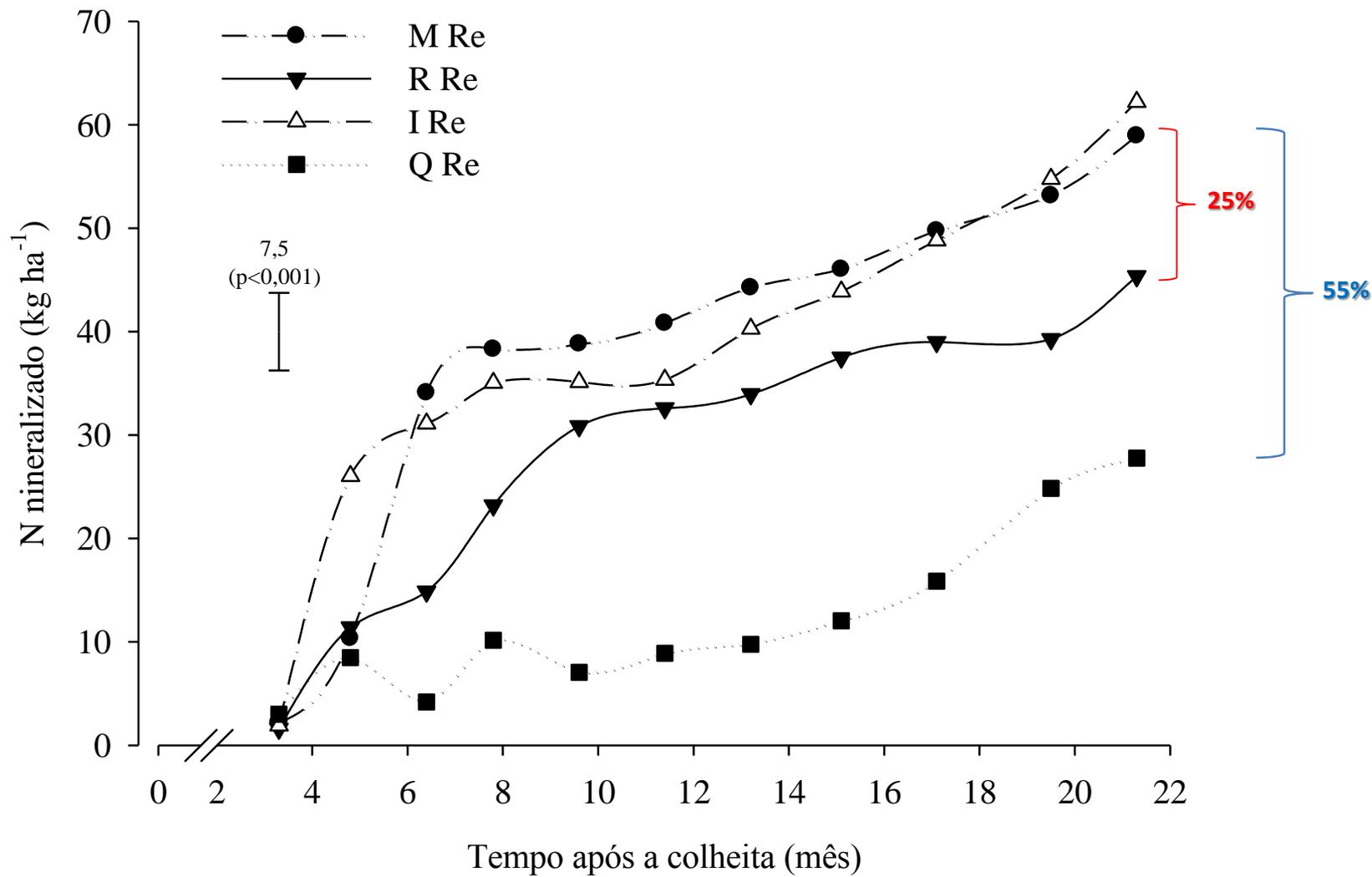
FRR - All forest residues removal,

FRI - All forest residues were incorporated in the soil at 0.2 m deep with heavy harrow

FRB - All forest residues on the soil were burn.

The bars indicate the LSD test (P = 5%)

Soil organic carbon (SOC) and soil N from 1 month to 16 years (two rotations) in the 0–20 cm layer after different forest residue management strategies.



M Re = Manutenção dos resíduos
 R Re = Remoção dos resíduos
 I Re = Incorporação dos resíduos
 Q Re = Queima dos resíduos

Acúmulo de nitrogênio (N) mineralizado na camada de 0-30cm do solo. A barra indica a diferença mínima significativa pelo teste LSD ($p < 0,05$)

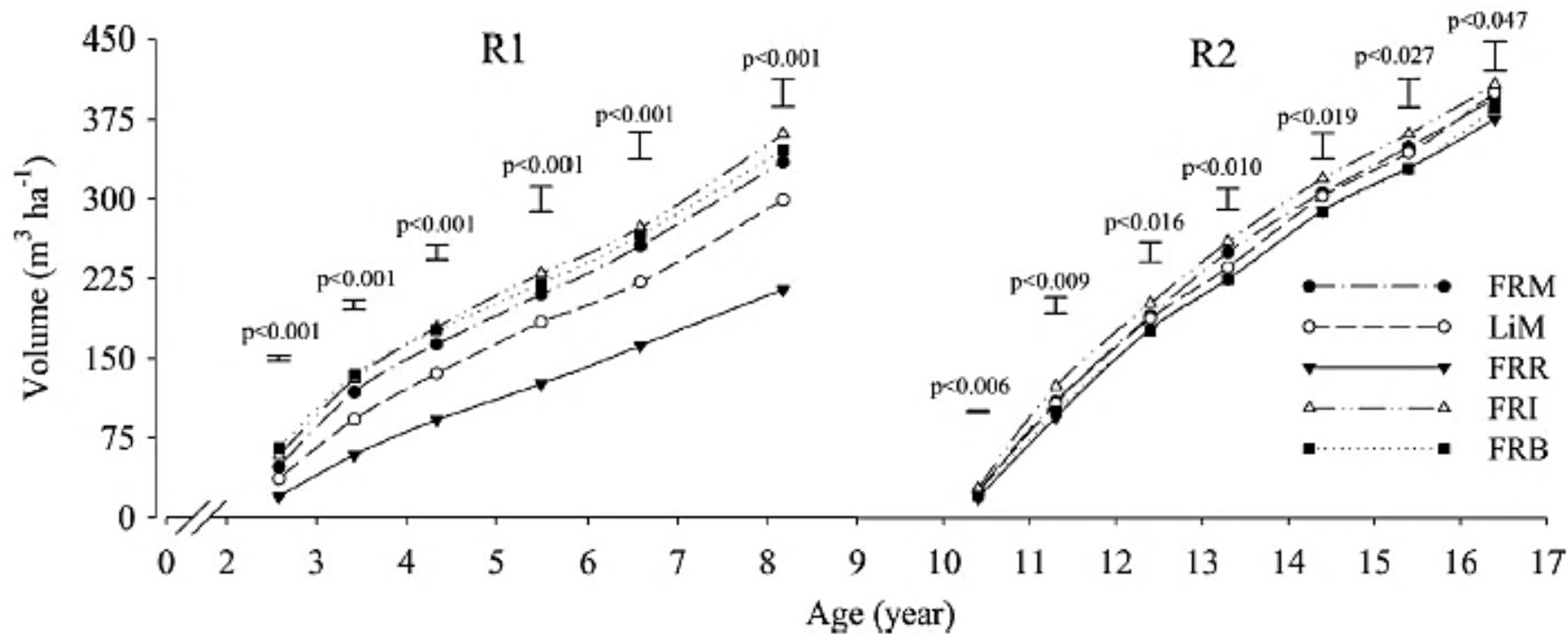
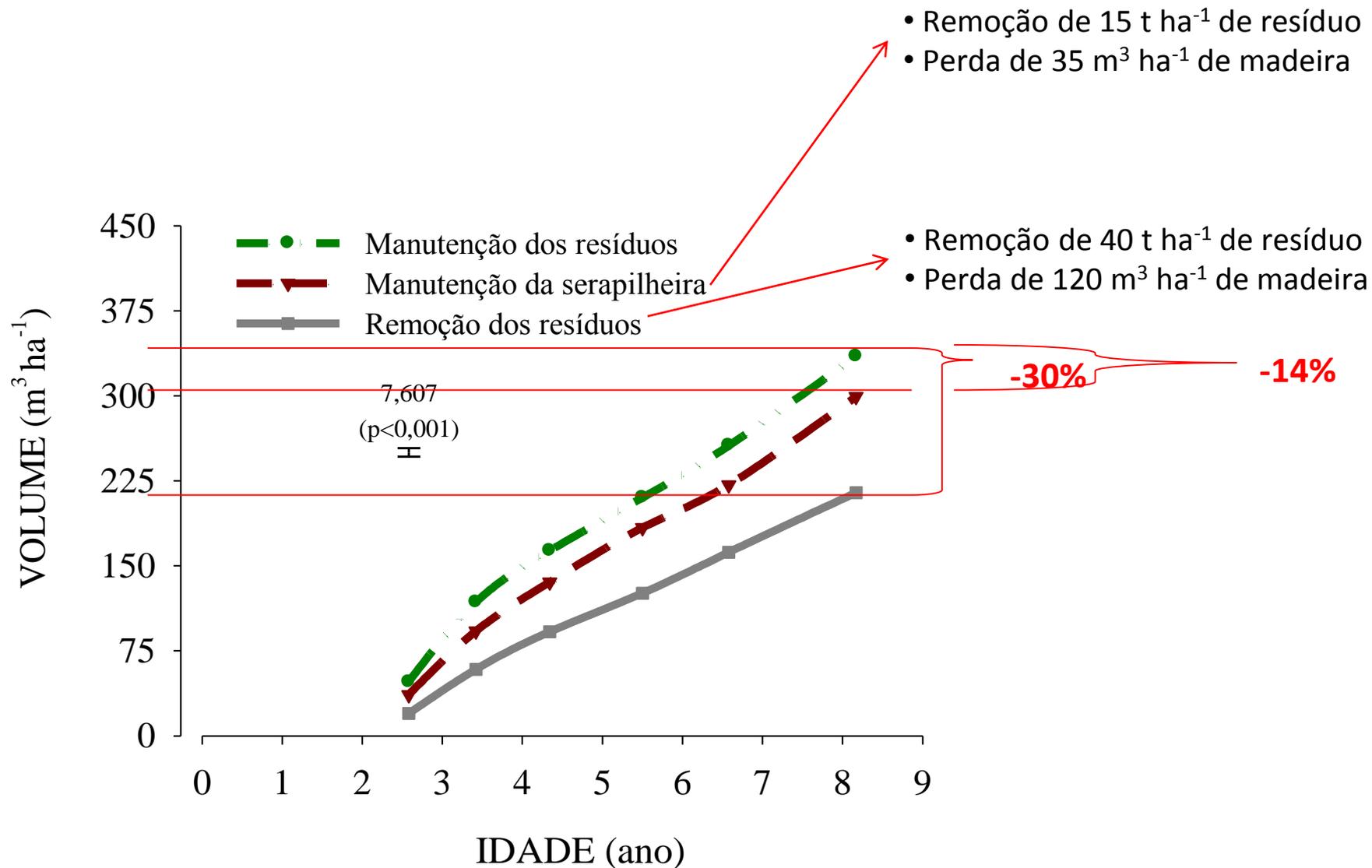


Fig. 3. Solid wood volume with increasing age in two crop rotations under different forest residue management strategies. a – first crop rotation (R1) and b – second crop rotation (R2). Treatments: FRM - All forest residues were maintained on the soil, only stem wood harvest, FRR - All forest residues removal, FRI - All forest residues were incorporated in the soil at 0.2 m deep with heavy harrow and FRB – All forest residues on the soil were burned. The bars indicate the least significant difference using the LSD test at 5% probability, and the values on the bars show the significance of the F test.

Exp. 1 – 1995 a 2004

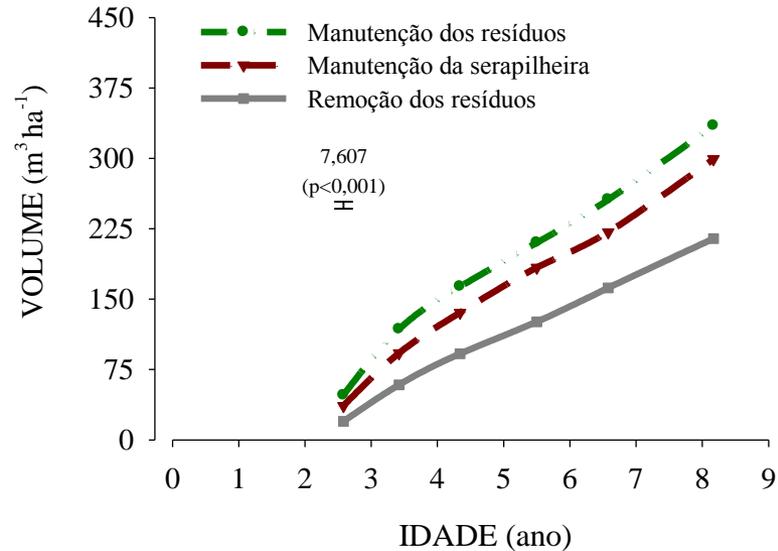


Efeito residual do manejo dos resíduos

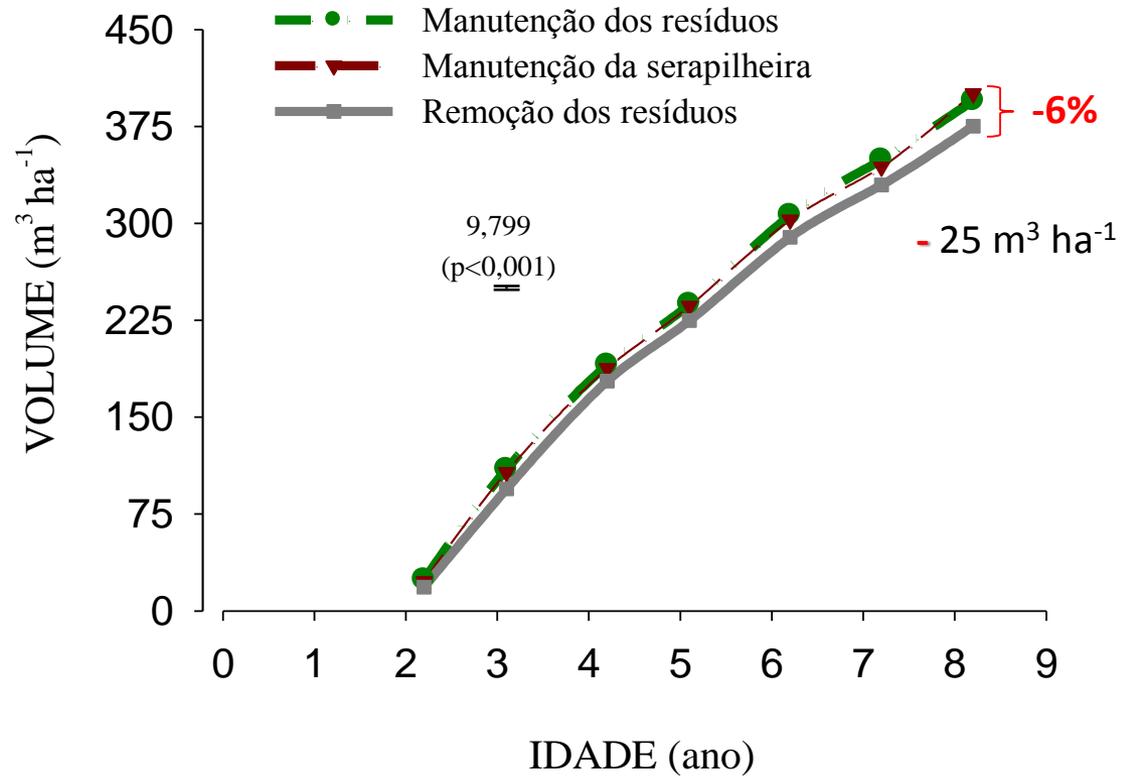
N = 130 kg ha⁻¹
 P₂O₅ = 100 kg ha⁻¹
 K₂O = 150 kg ha⁻¹
 Calcário = 2 t ha⁻¹

N = 15 kg ha⁻¹
 P₂O₅ = 30 kg ha⁻¹
 K₂O = 165 kg ha⁻¹

1995 a 2004



2004 a 2012



Valoração financeira dos resíduos florestais

Custo com insumos para a reposição de nutrientes exportados em diferentes cenários de manejo florestal

Tratamento	Biomassa ⁽¹⁾	Custo para reposição dos nutrientes exportados		
		BRL	USD ⁽²⁾	Eq m ³⁽³⁾
MRe	125 t ha ⁻¹	1.800,00	800.00	35
MSe	140	2.900,00	1,300.00	55
RRe	164	4.200,00	1,900.00	80

⁽¹⁾ Biomassa = madeira + resíduos exportados

MRe – Manutenção de todos os resíduos (folhas, galhos, cascas e serapilheira);

MSe – Manutenção apenas da serapilheira

RRe – Remoção de todos os resíduos

⁽²⁾ Dólar a R\$ 2,24 - data base 04/04/2014;

⁽³⁾ valor em m³ de madeira equivalente, considerando o preço da madeira de R\$ 51,30 m⁻³.

Custo com fertilizantes para repor os nutrientes contidos na:

- **madeira** = R\$14,30/t
- **folhas** = R\$ 135,00/t
- **galhos** = R\$ 45,00/t
- **casca** = 55,00/t
- **serapilheira** = R\$ 55,00/t



Obrigado