

Modelos de simulação da dinâmica do carbono no solo

Carlos Eduardo P. Cerri

TÓPICOS

1. Introdução a Matéria Orgânica do Solo: carbono
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS
3. Rothamsted Carbon Model (RothC v26.3)
4. Century Ecosystem Model (Century v4)

Modelos de simulação da dinâmica do carbono no solo

Carlos Eduardo P. Cerri

TÓPICOS

1. Introdução a Matéria Orgânica do Solo: carbono
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS
3. Rothamsted Carbon Model (RothC v26.3)
- 4. Century Ecosystem Model (Century v4)**

Century Ecosystem Model

Century 4.0

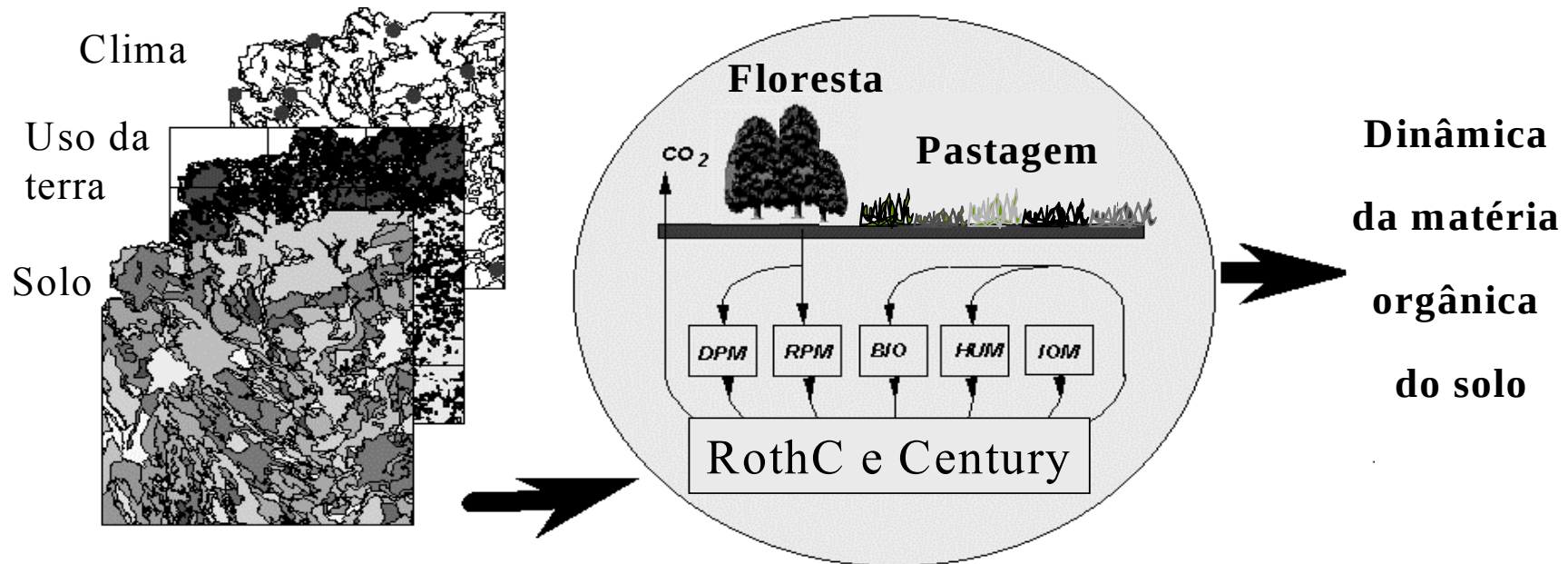


Dr. Bill Parton

Dr. Keith Paustian

Por que o modelo Century?

Um dos modelos mais difundidos, testados e utilizados para a simulação da dinâmica da matéria orgânica no solo.



Desenvolvimento do modelo Century

Originalmente desenvolvido para simular a dinâmica da MOS em áreas de pastagem na região central dos USA

Versões mais atuais vêm sendo modificadas para contemplar simulações relacionadas a culturas agrícolas e florestas em regiões de clima temperado e tropical

Os principais processos representados pelo modelo incluem:

- ciclagem de C, N, P e S,
- produção vegetal,
- fluxo de água no solo,
- absorção de nutrientes pelas plantas e
- taxas de decomposição da MOS

Desenvolvimento do modelo Century

Atualmente, existem 2 versões em desenvolvimento:

Century versão 4 FORTRAN

Century versão 5 C++

Facilitar integração com outros modelos

Modelo Century: dados de entrada

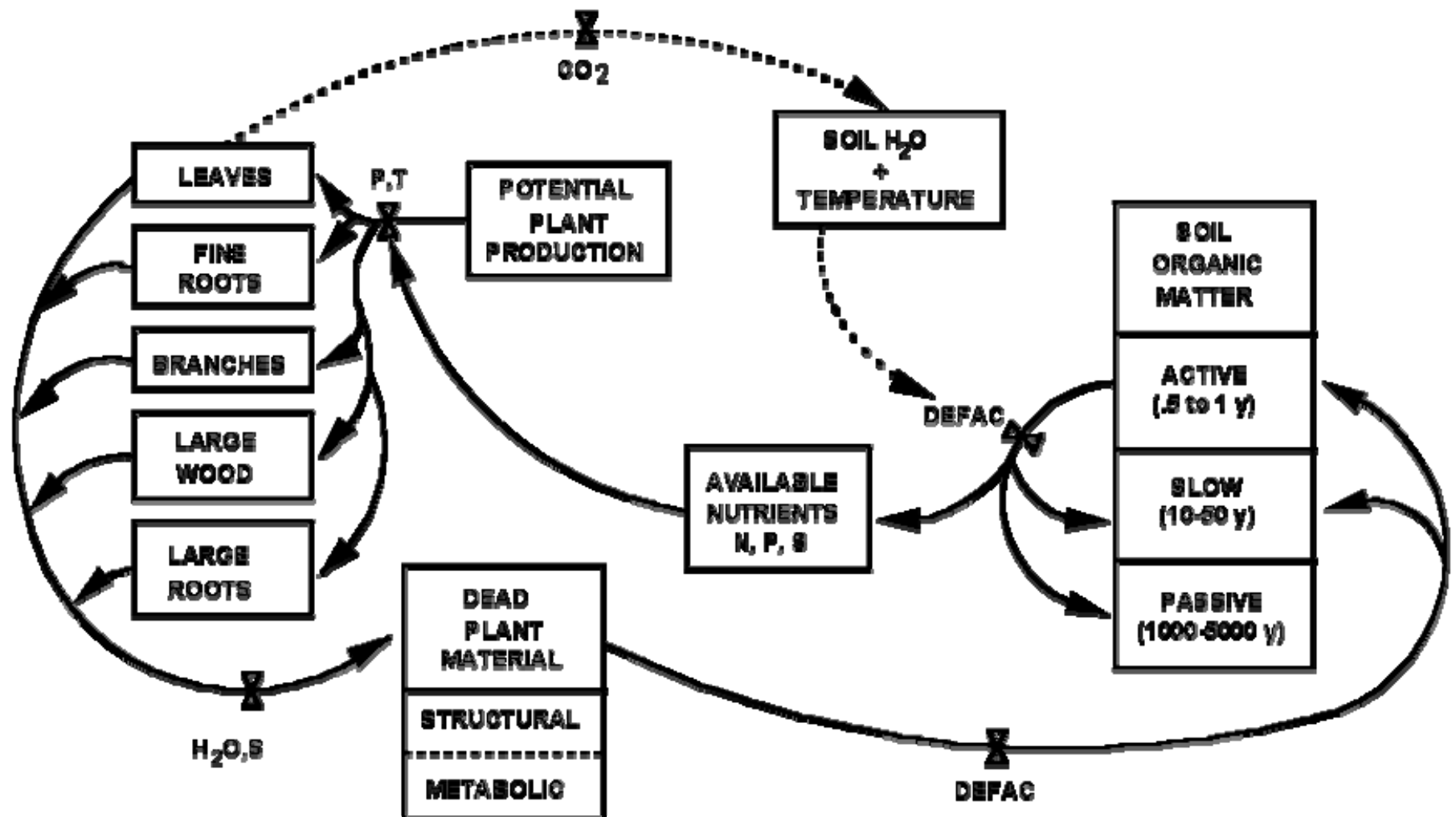
- Temperaturas máximas e mínimas (mensais)
- Precipitação média mensal
- Conteúdos de areia, silte e argila no solo
- Densidade
- Relação C:N tecido vegetal
- Produção da cultura
- Manejo (tipo, rotação, épocas)
- Tratos culturais (tipo: aração/gradagem, época)
- Fertilizantes (orgânico ou inorgânico, quantidade)
- Resíduos orgânicos
- Fogo
- Irrigação

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Modelo Century: dados de saída

- C total e N total no solo
- Biomassa microbiana C do solo
- Nitrogênio Mineral
- Amônio, nitrato lixiviado
- Desnitrificação, Nitrificação
- Dinâmica da temperatura e água no solo
- Vários dados de saída de plantas

MODELO CENTURY



Submodelos do Century

- **Matéria Orgânica do Solo**

 - Ciclo C

 - Ciclo N

 - Ciclo P

 - Ciclo S

- **Água no solo**

- **Produção vegetal**

 - Floresta

 - Pastagem/culturas

Submodelos do Century

- **Matéria Orgânica do Solo**

 - Ciclo C

 - Ciclo N

 - Ciclo P

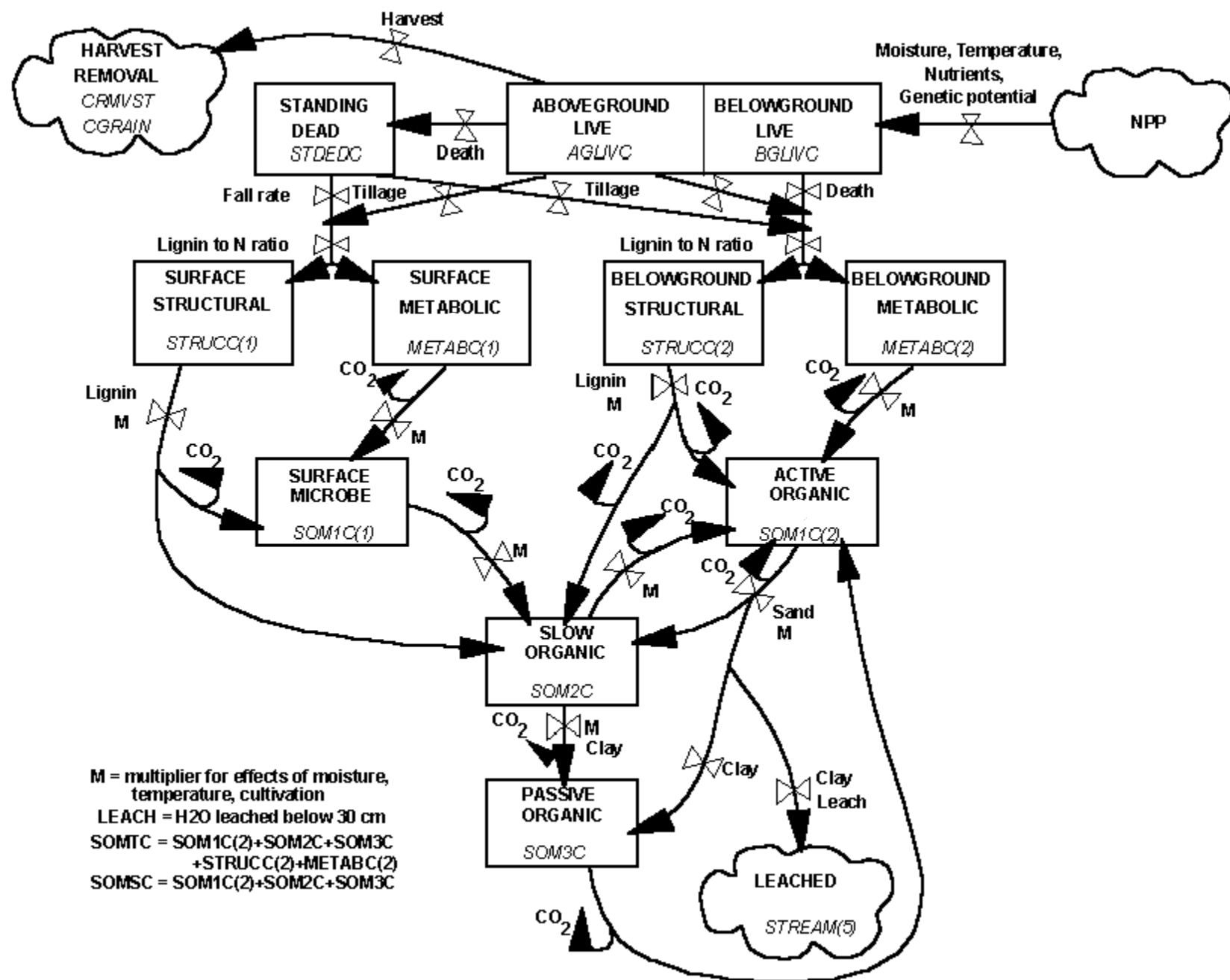
 - Ciclo S

- **Água no solo**

- **Produção vegetal**

 - Floresta

 - Pastagem/culturas



Submodelo de Matéria Orgânica do Solo

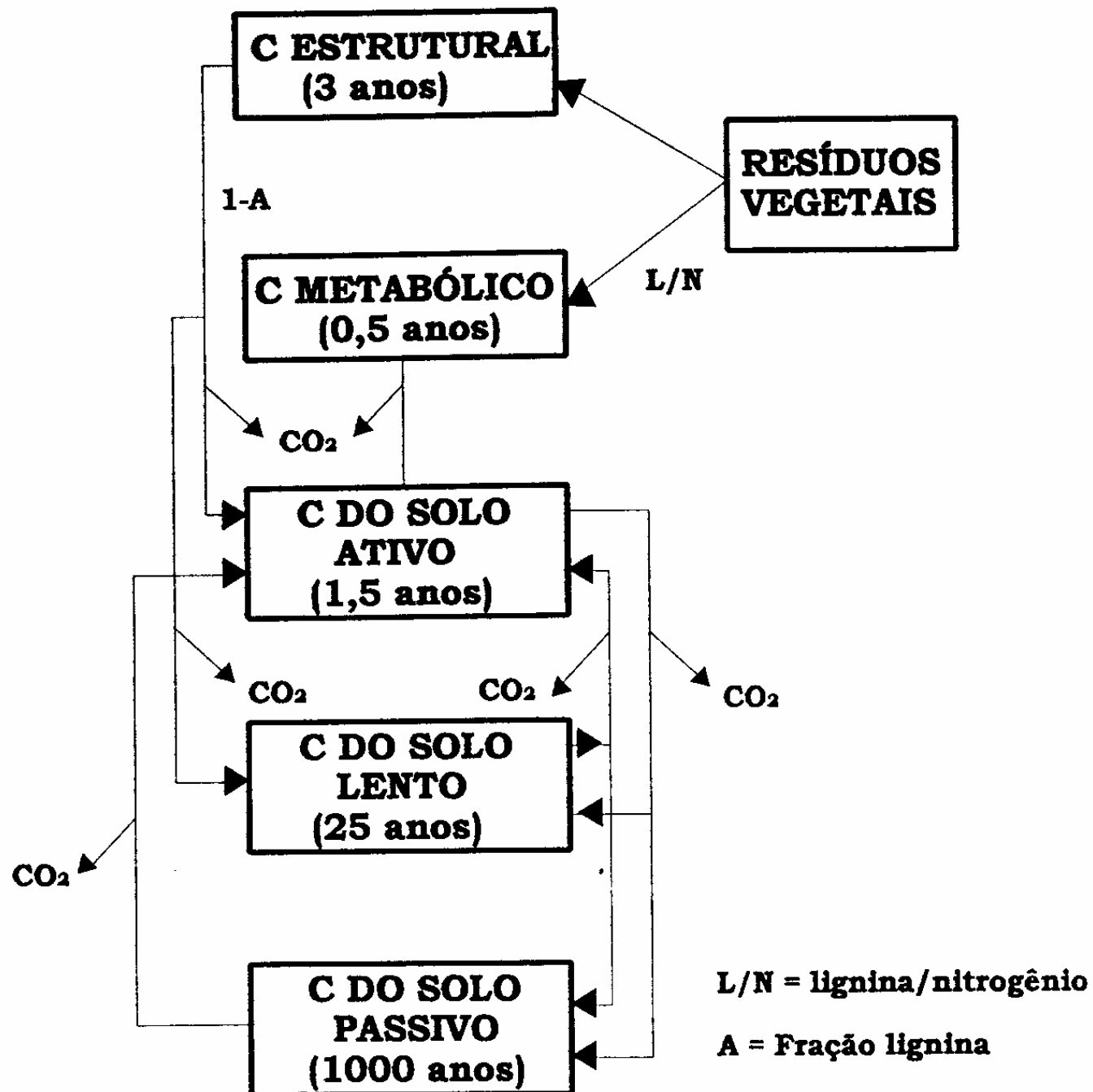
Submodelo de Matéria Orgânica do Solo

Ponto chave é a divisão da MOS em 3 frações com diferentes tempos de ciclagem, sendo elas:

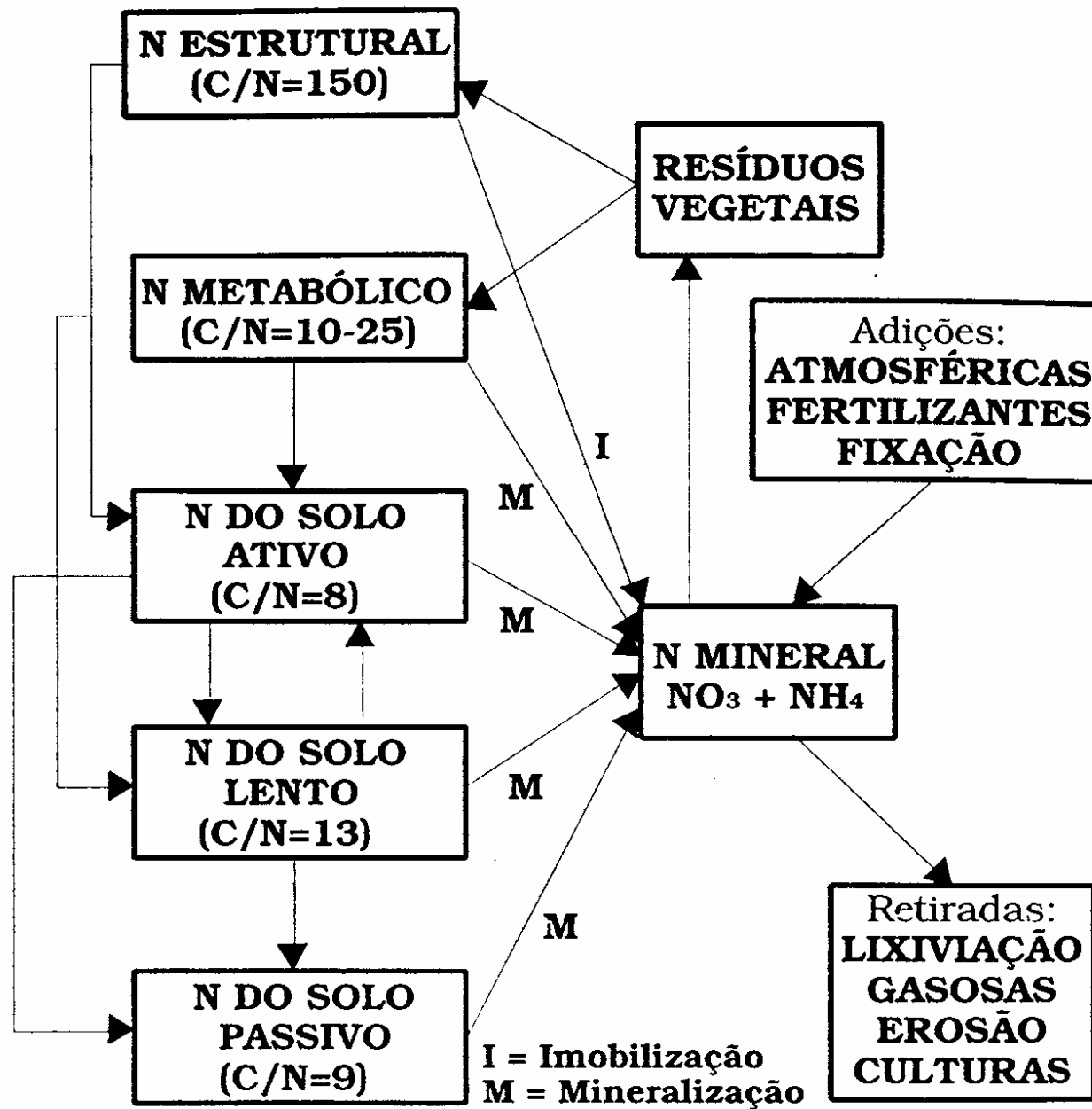
(i) fração ativa: relacionada a biomassa microbiana do solo e seus produtos metabólicos. Tempo de ciclagem em meses/anos.

(ii) fração lenta: é mais resistente a decomposição (ciclagem em décadas) do que a fração ativa devido proteção física e química da MOS

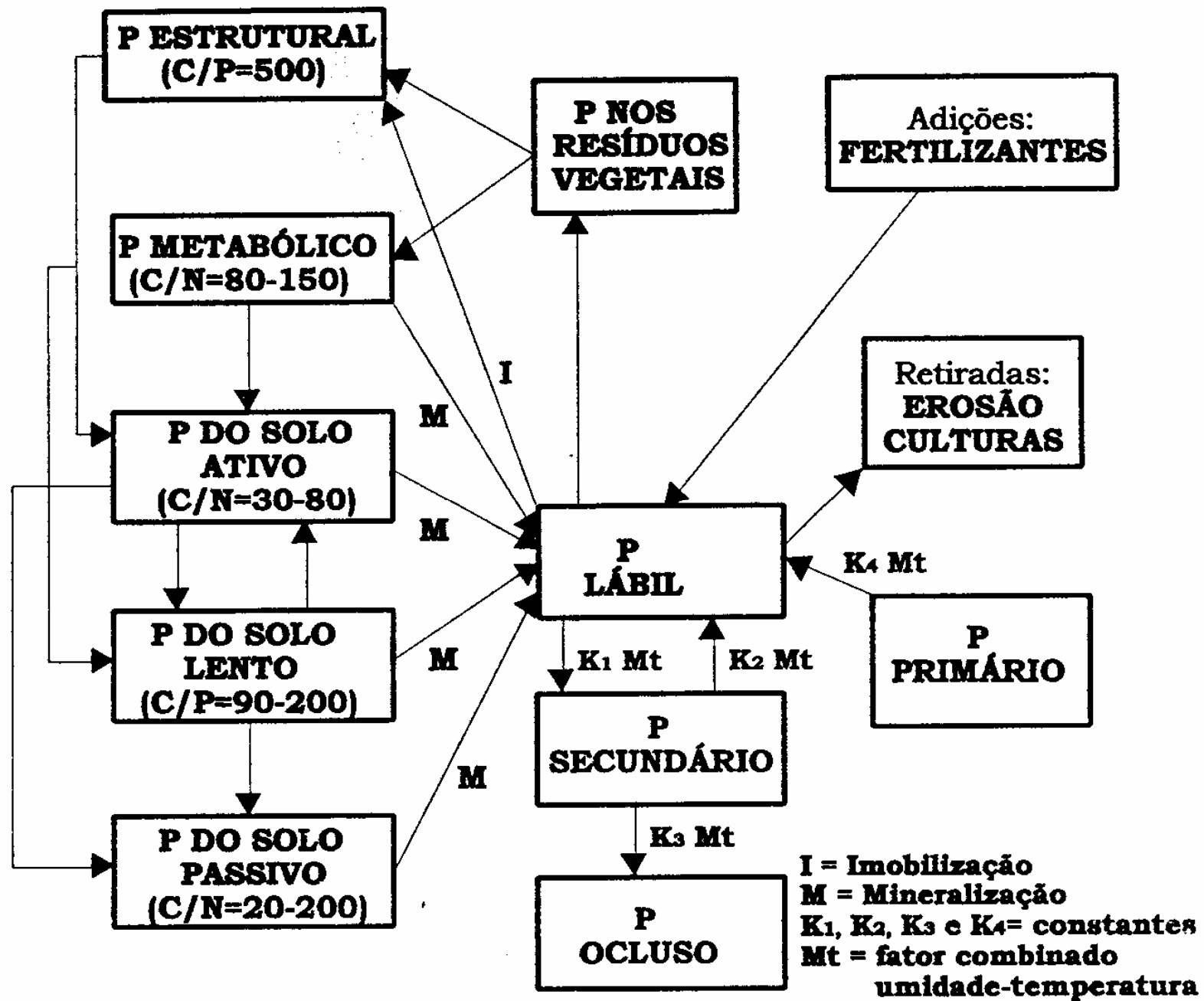
(iii) fração passiva: é bastante resistente a decomposição, com longo tempo (séculos) de ciclagem.



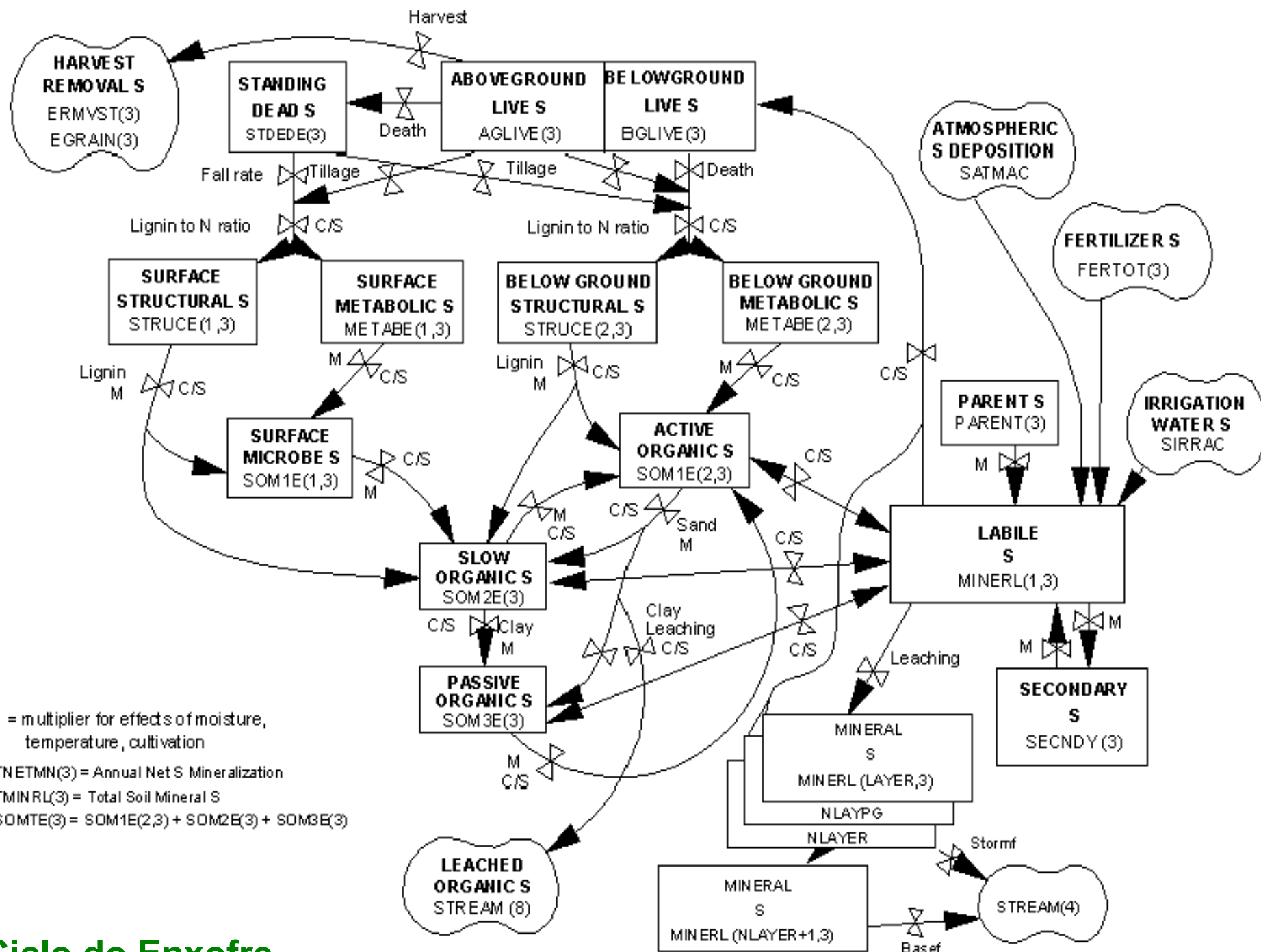
Ciclo do Carbono



Ciclo do Nitrogênio



Ciclo do Fósforo



Ciclo do Enxofre

Submodelos do Century

- **Matéria Orgânica do Solo**

 - Ciclo C

 - Ciclo N

 - Ciclo P

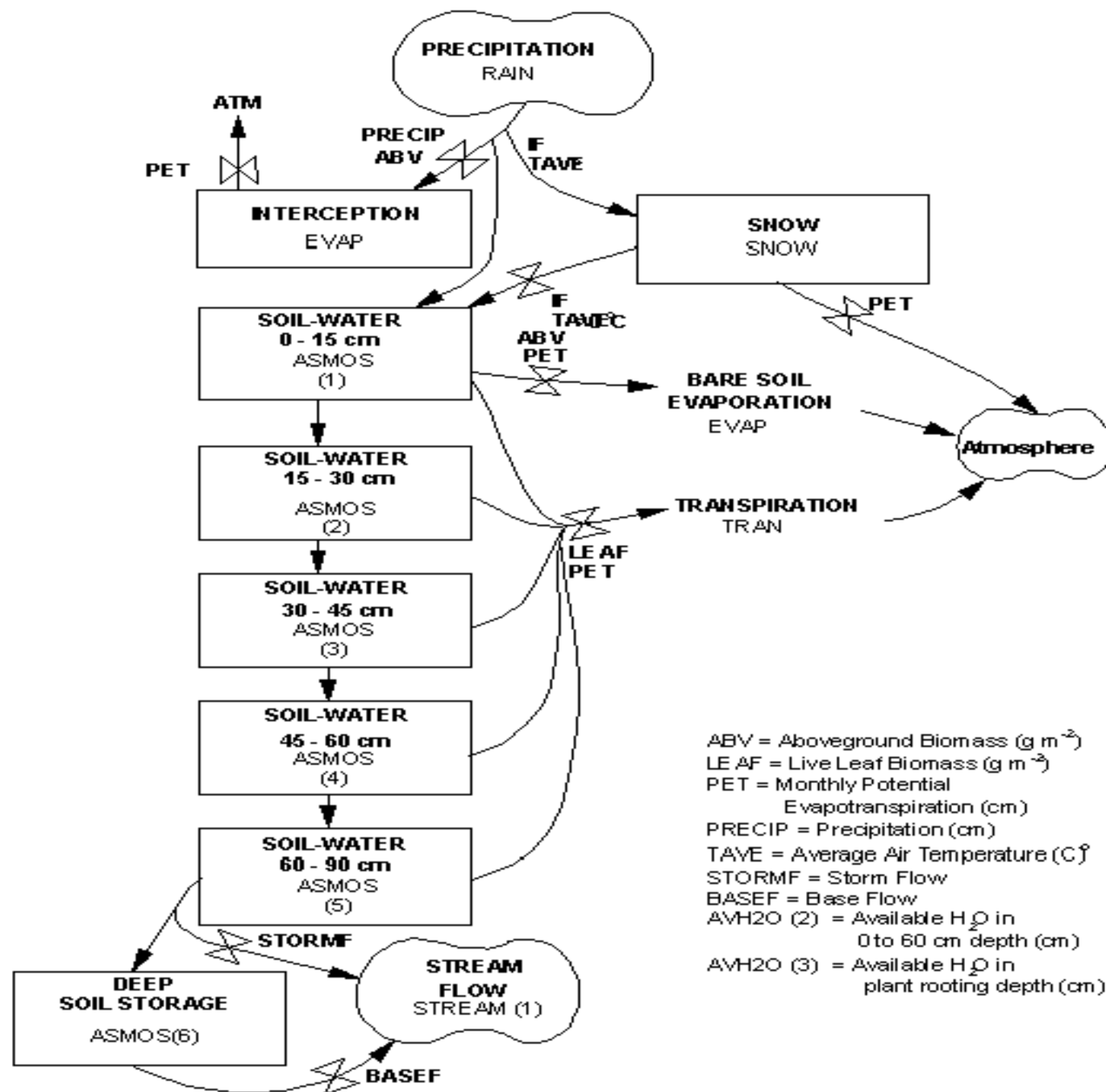
 - Ciclo S

- **Água no solo**

- **Produção vegetal**

 - Floresta

 - Pastagem/culturas



Submodelo de Água no Solo

Submodelos do Century

- **Matéria Orgânica do Solo**

 - Ciclo C

 - Ciclo N

 - Ciclo P

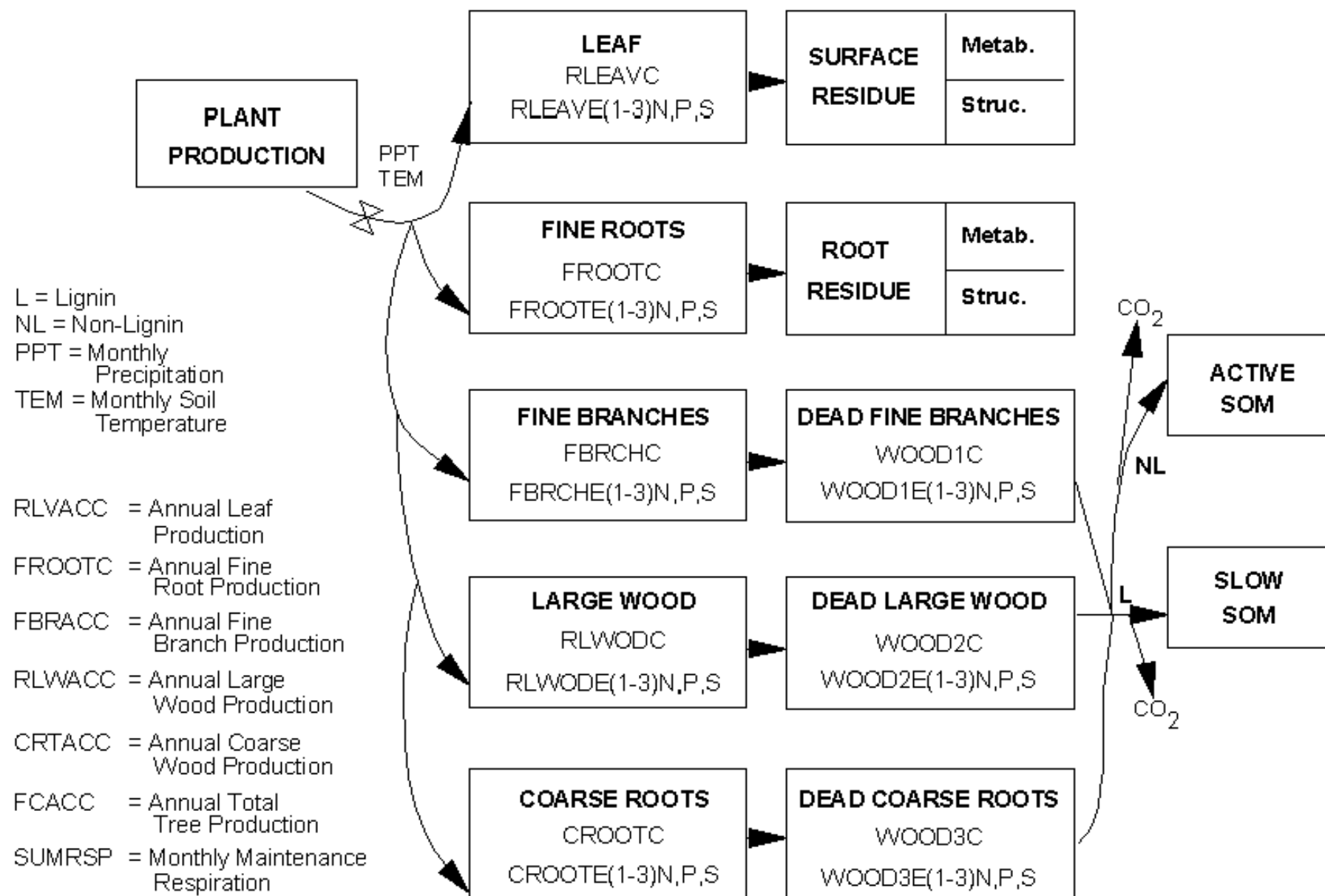
 - Ciclo S

- **Água no solo**

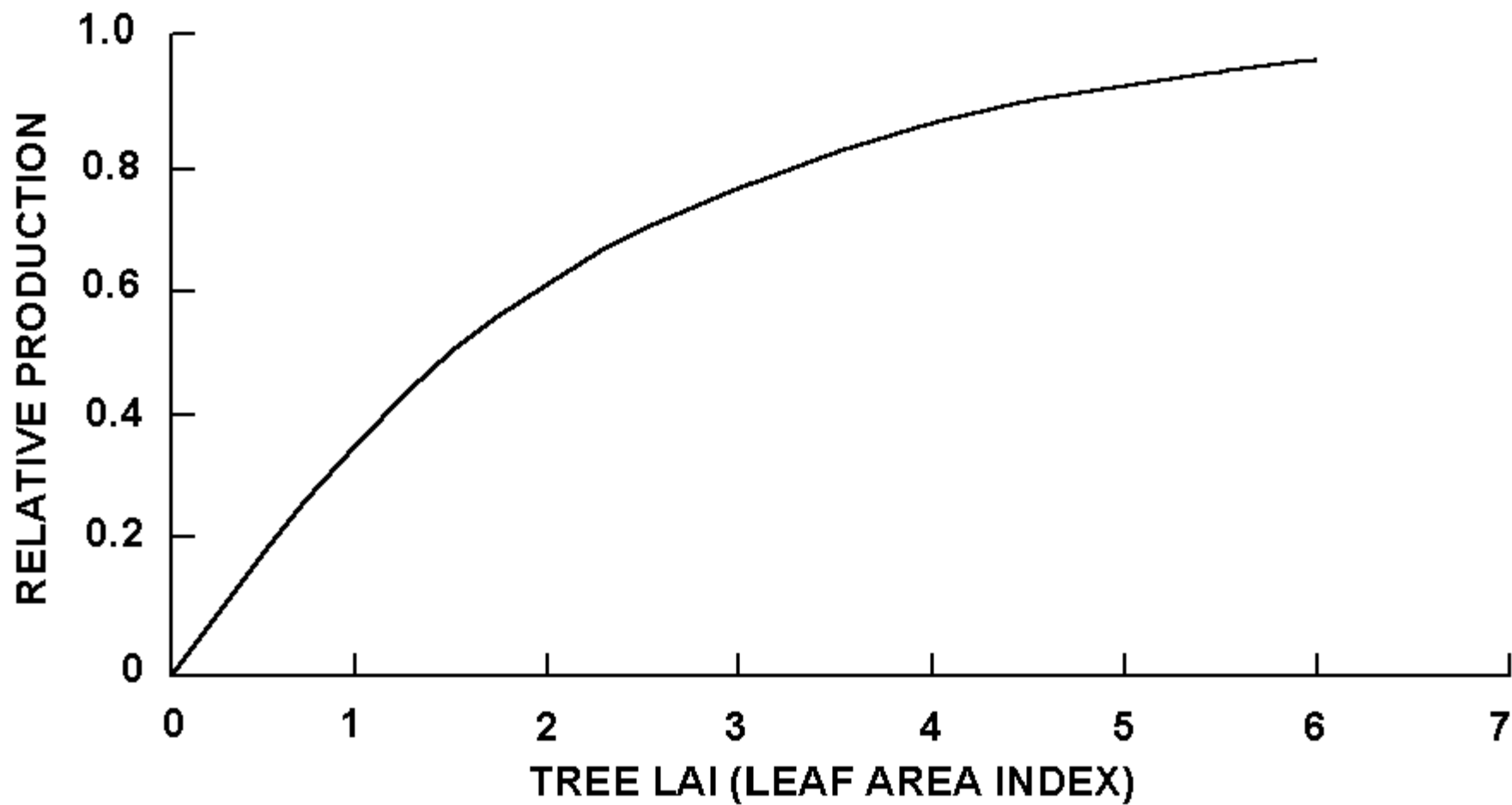
- **Produção vegetal**

 - Floresta

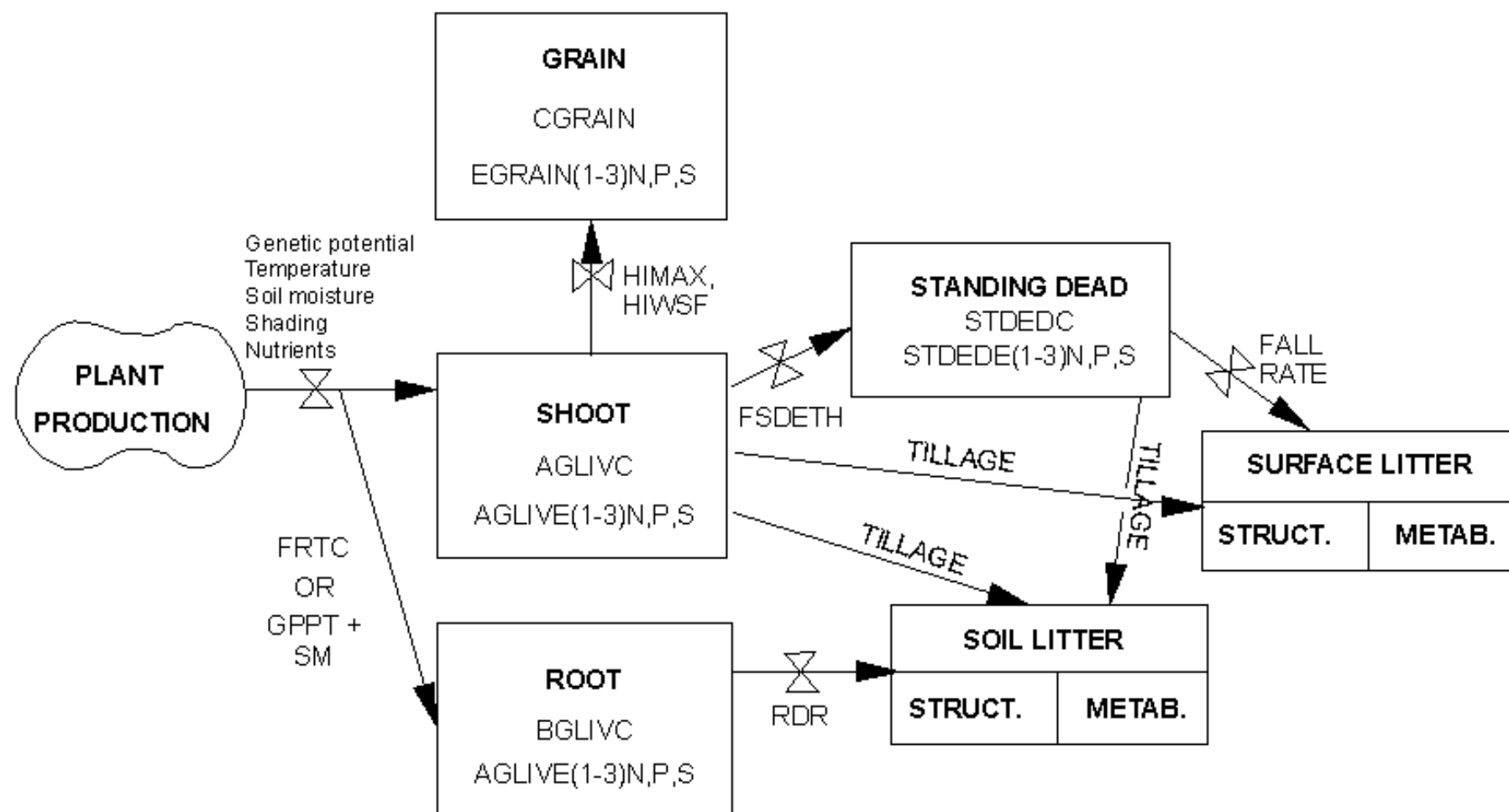
 - Pastagem/culturas



Submodelo de produção vegetal: floresta



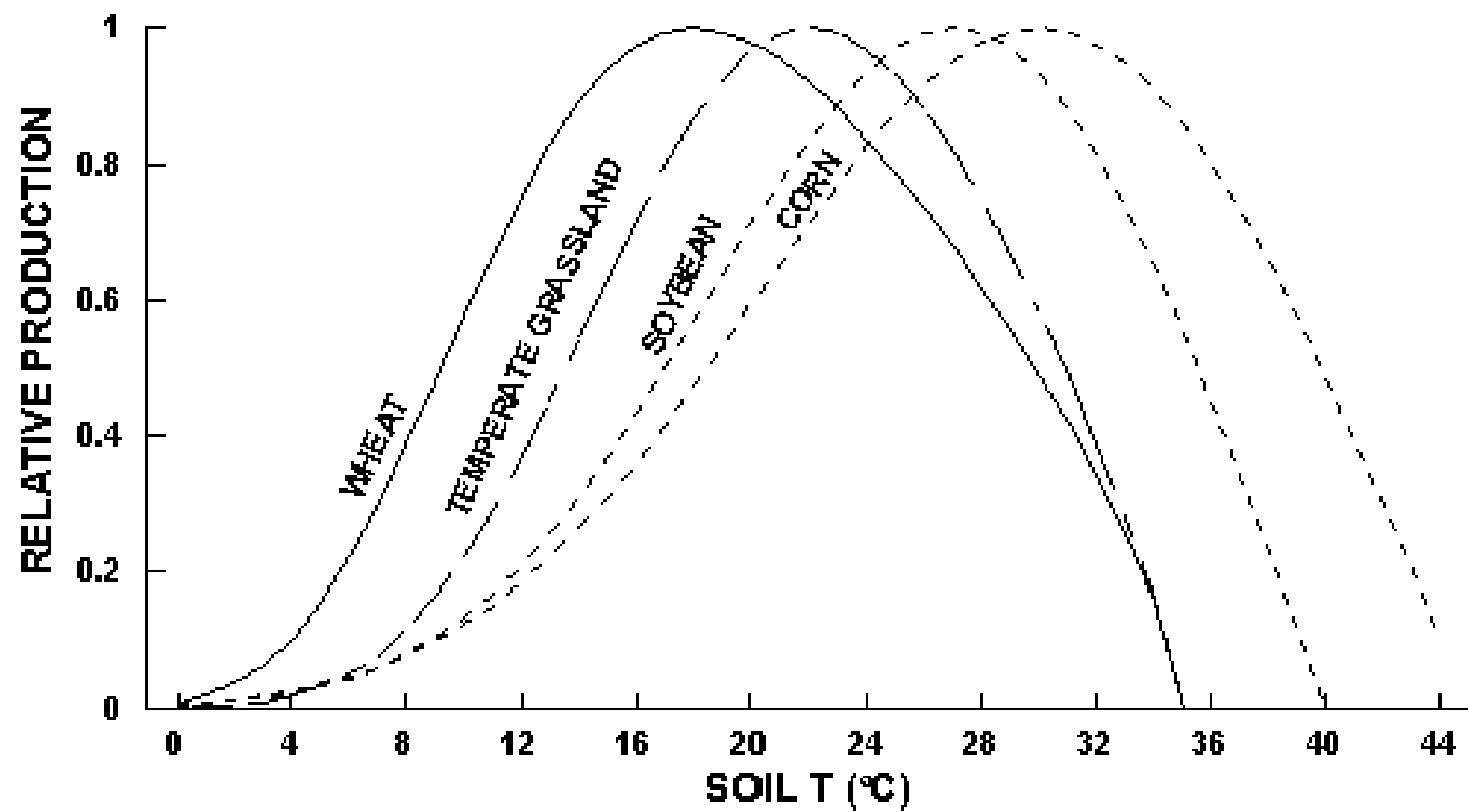
Submodelo de produção vegetal: floresta



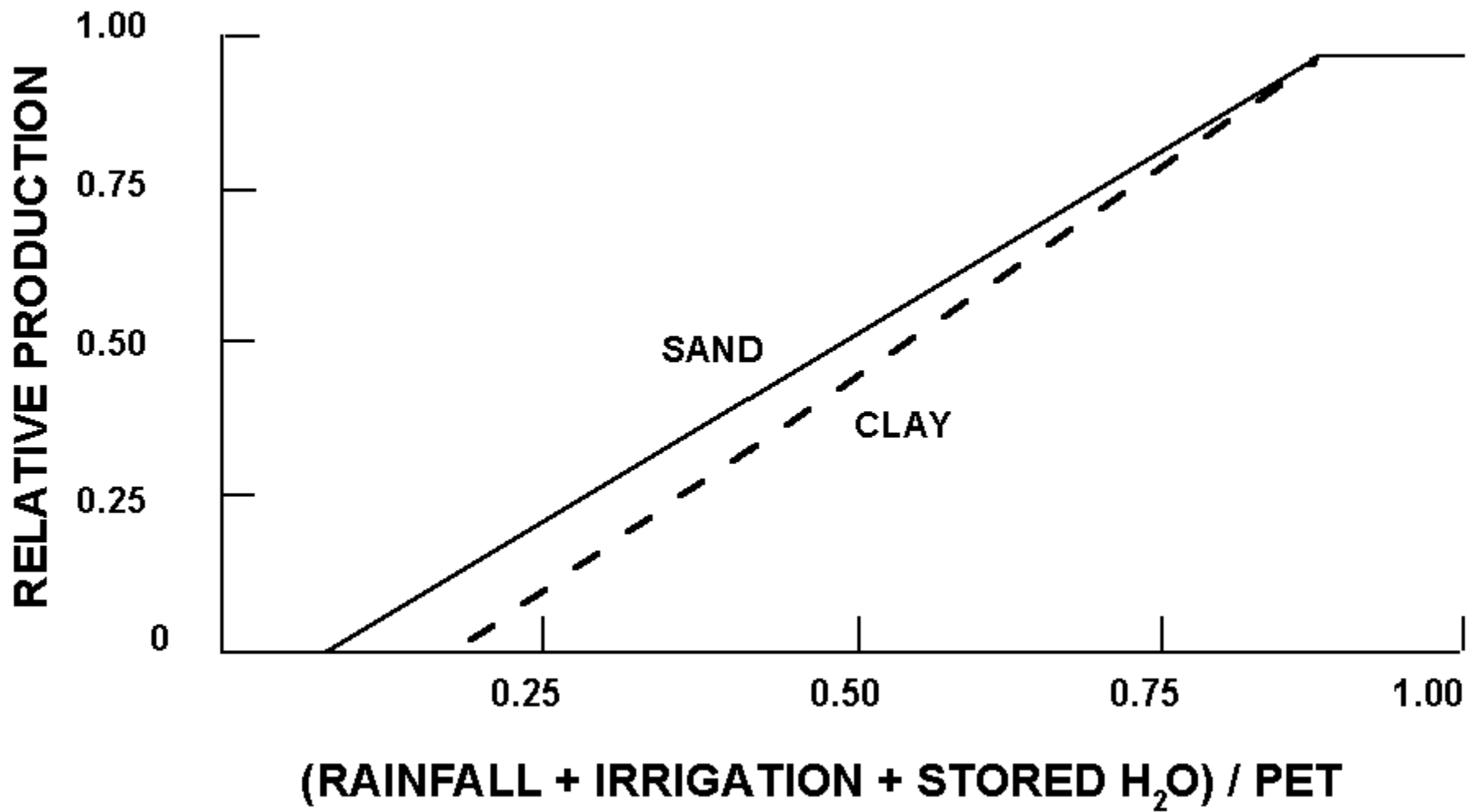
GPPT = Grow Season Precipitation
 SM = Initial Soil Moisture
 FSDETH = Shoot Death Rate
 FRTC = Fraction Root Carbon
 RDR = Root Death Rate
 HIMAX = Harvest Index Maximum
 HIWSF = Harvest Index Water Stress
 Factor

CPRODA = Annual Total Production
 AGCACC = Above Ground Growing Season Production
 BGCACC = Below Ground Growing Season Production

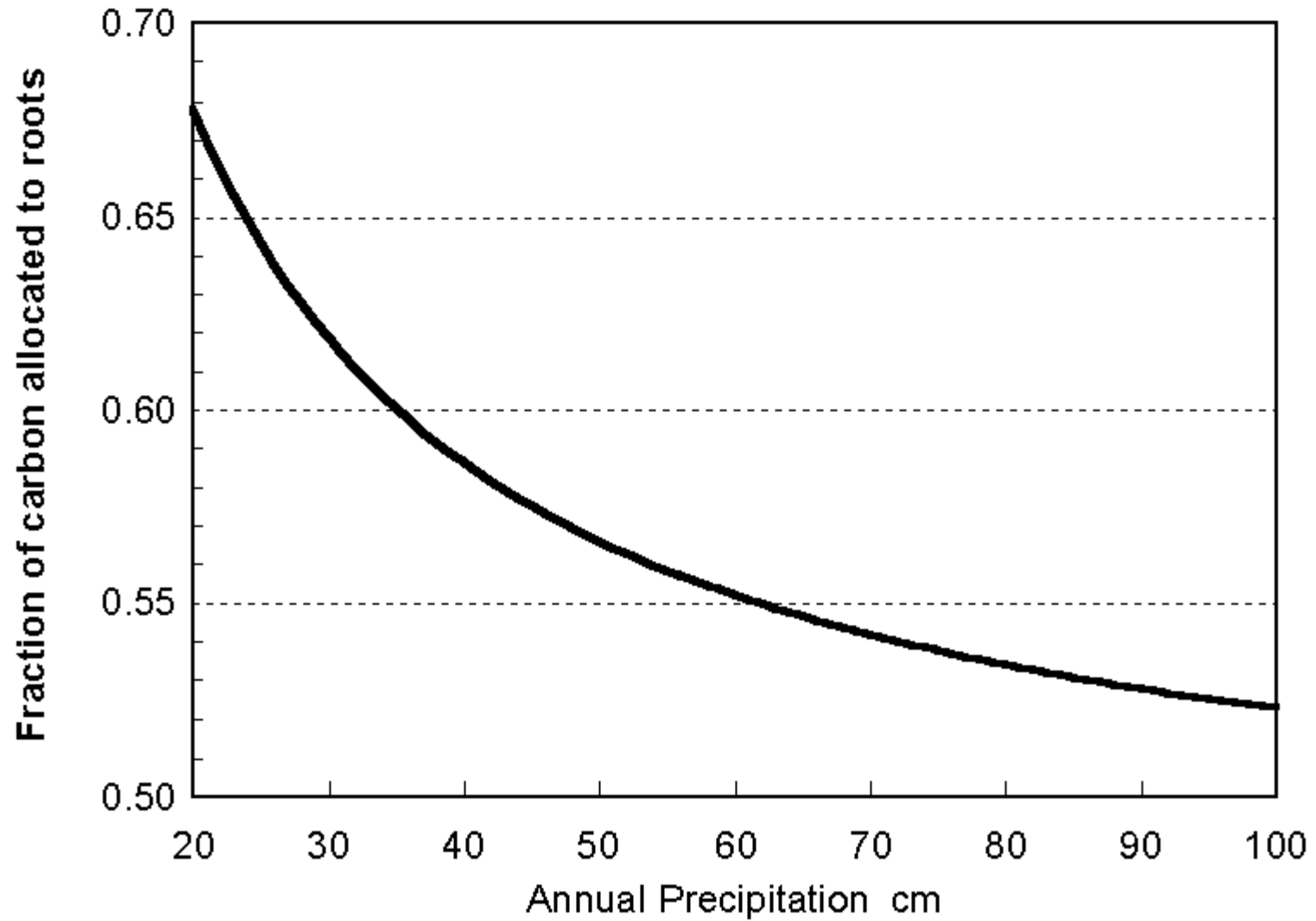
Submodelo de produção vegetal: pastagem/culturas



Submodelo de produção vegetal: pastagem/culturas



Submodelo de produção vegetal: pastagem/culturas



Submodelo de produção vegetal: pastagem/culturas

Exemplos de Aplicações do modelo Century

Exemplos de Aplicações do modelo Century

Objetivo da pesquisa	Aplicação	Referência
Relação entre matéria orgânica e fatores do solo.	Aplicado a 500 e 300 solos cultivados com pastagens e cereais, respectivamente.	Burke et al. (1989)
Avaliar a dinâmica da matéria orgânica em solos tropicais.	Aplicado a três solos desenvolvidos sob condições tropicais.	Parton et al. (1989)
Avaliar a dinâmica da matéria orgânica em experimentos de longa duração.	Aplicado ao estudo sobre adubação nitrogenada proveniente de formas orgânicas e inorgânicas.	Paustian et al. (1992)
Simular o desenvolvimento da cultura do trigo em cinco solos diferentes.	Aplicado a solos do sul da Austrália para períodos de 10 e 20 anos.	Carter et al. (1993)
Validação de parâmetros em solos tropicais sob vegetação de floresta.	Aplicado ao estudo sobre compartimentos da matéria orgânica.	Motavalli et al. (1994)
Desenvolvimento de modelo baseado no Century SOM, simulando a dinâmica do C, N, P, S e produção vegetal.	Aplicado para um sistema hipotético de pastagens com capim colonião, nas condições de solo e clima do Rio de Janeiro.	Leal (1996)

*** Lista de referências utilizando modelo Century**

Leal & De-Polli (1999)

Utilizações mais recentes do modelo Century em pesquisas sobre dinâmica da MOS no Brasil

Sistemas de manejos (plantio direto, convencional)

Leite et al. (2004) Geoderma

Cronossequência Floresta-Pastagem em Rondônia

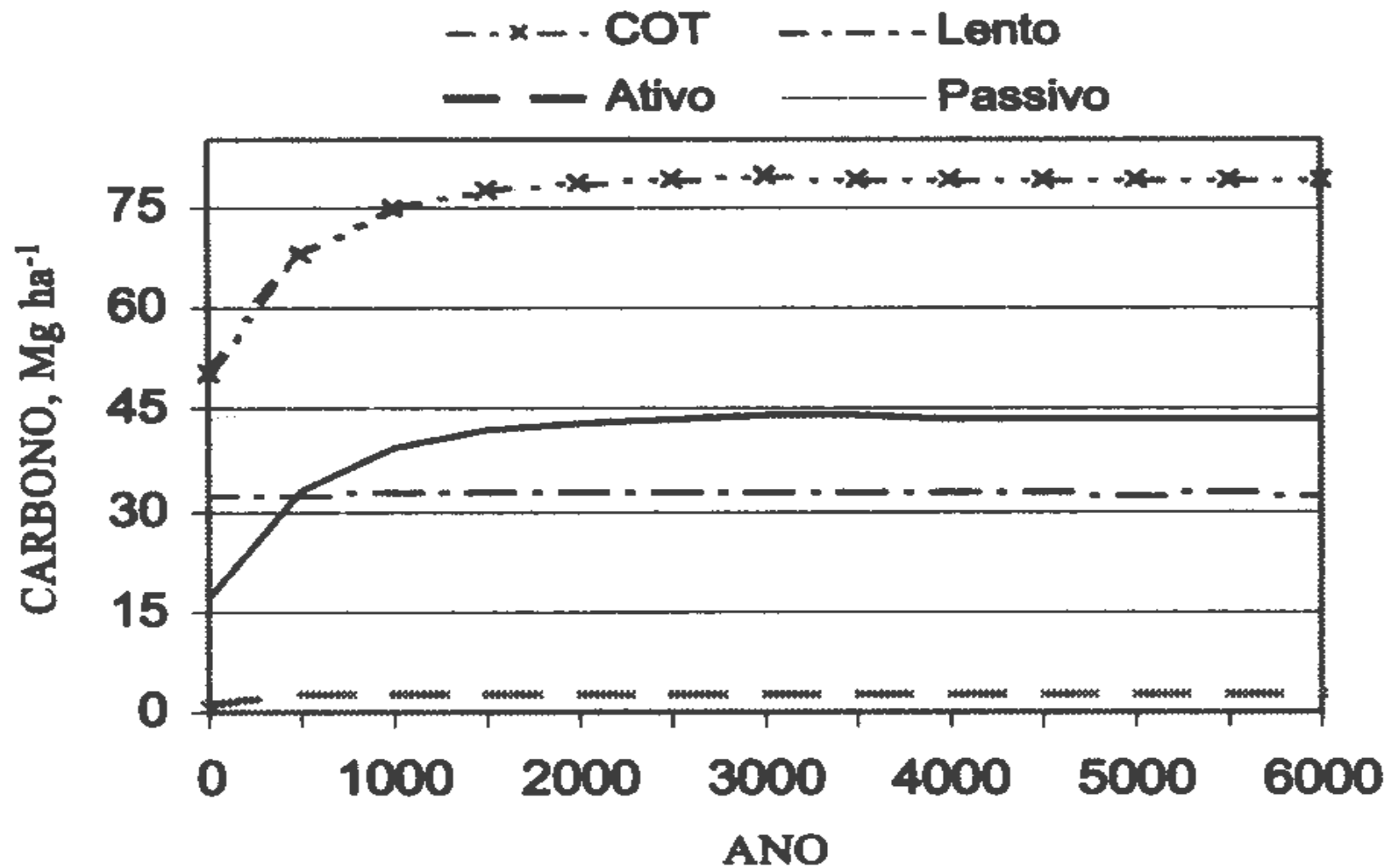
Cerri et al. (2004) Global Change Biology

Utilizações mais recentes do modelo Century em pesquisas sobre dinâmica da MOS no Brasil

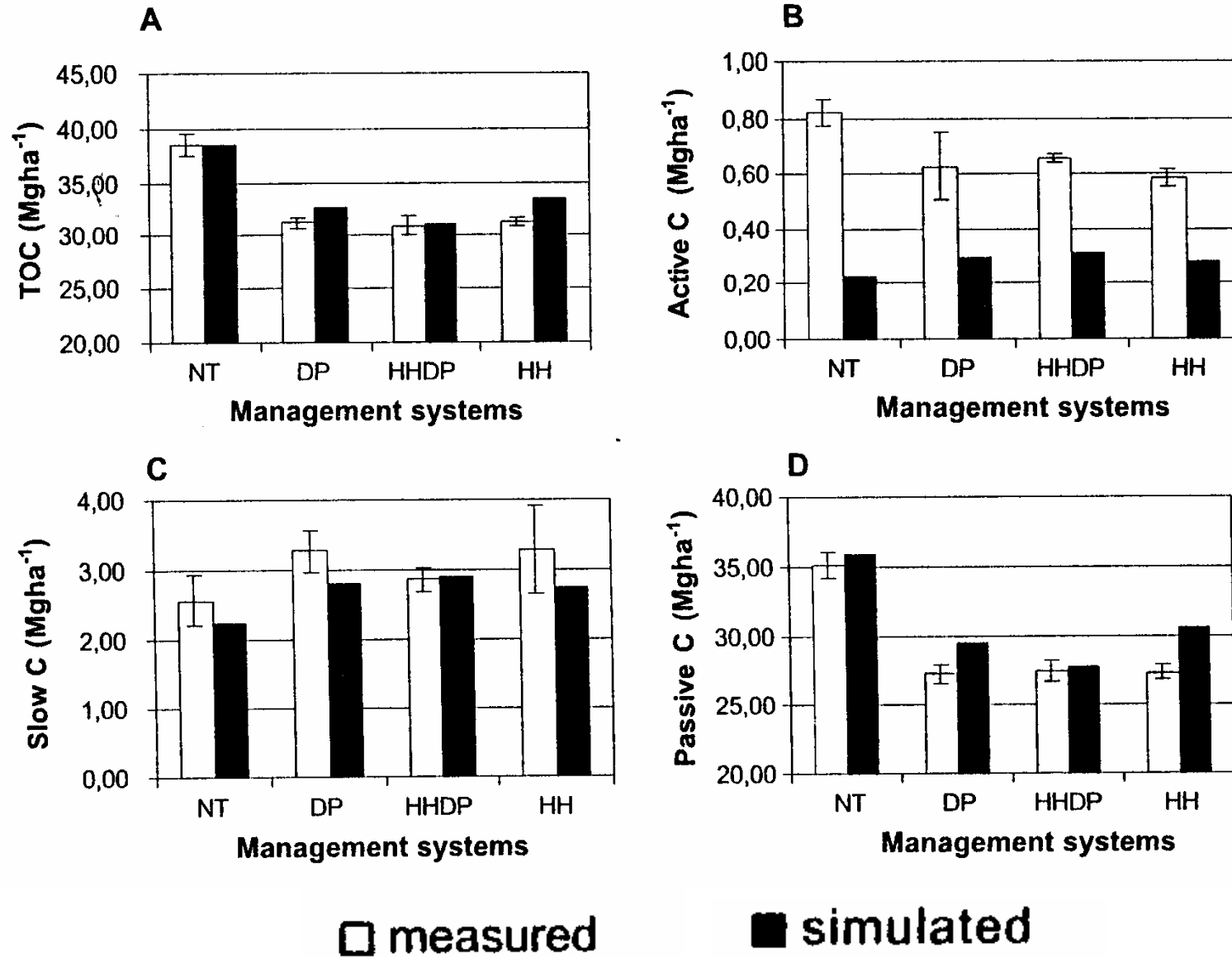
Sistemas de manejos (plantio direto, convencional)

Leite et al. (2004) Geoderma

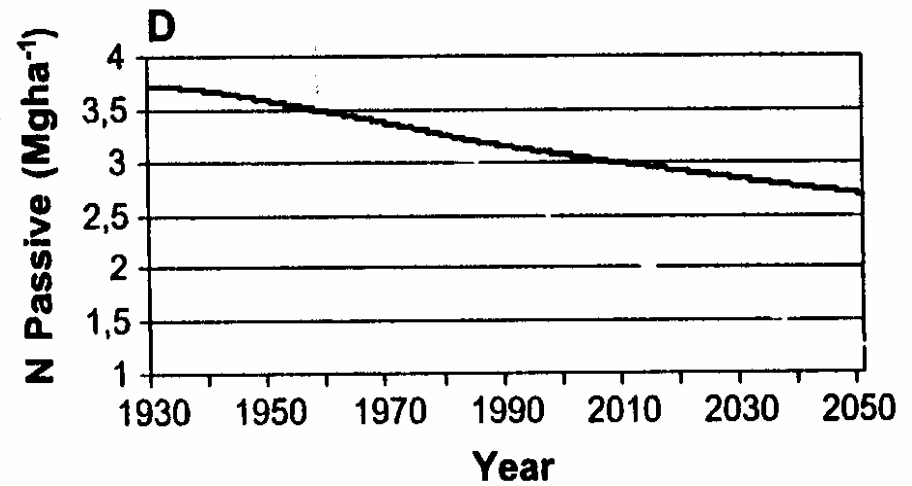
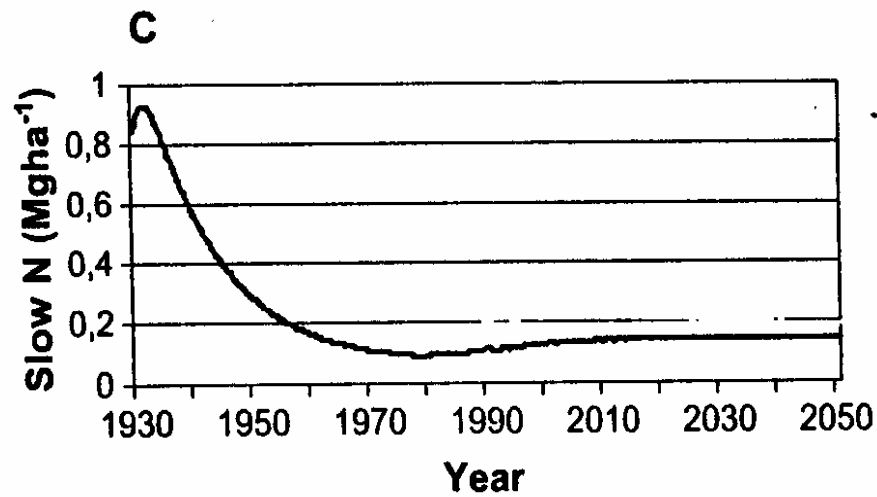
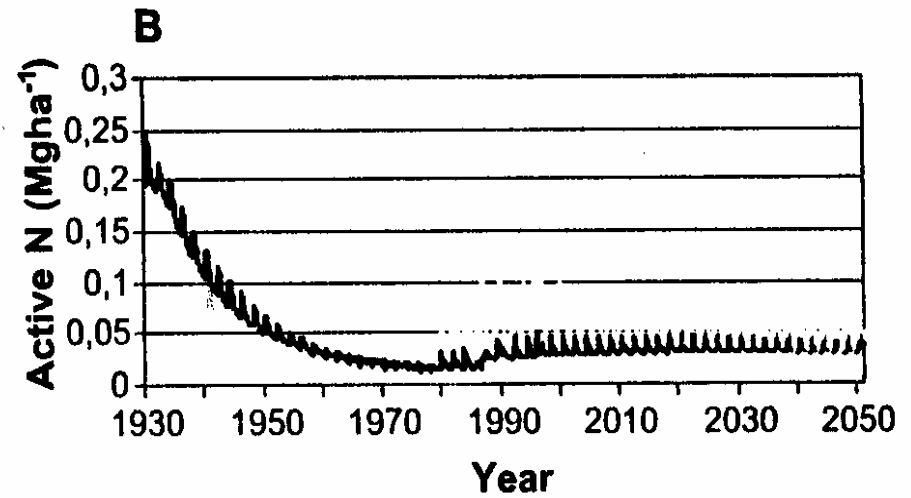
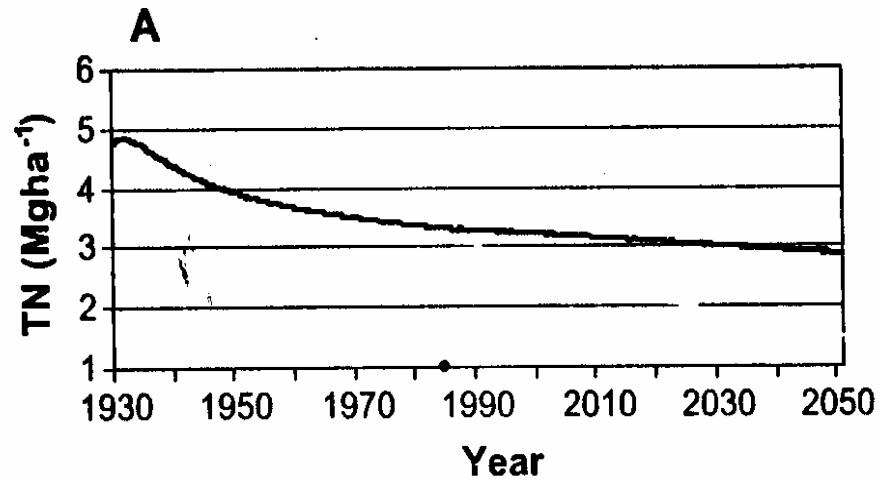
Equilíbrio



Validação



Cenários



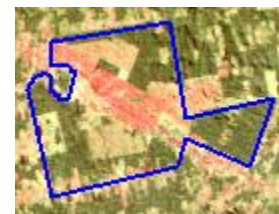
— NT HHDP — Start of the experiment • Before experiment

Utilizações mais recentes do modelo Century em pesquisas sobre dinâmica da MOS no Brasil

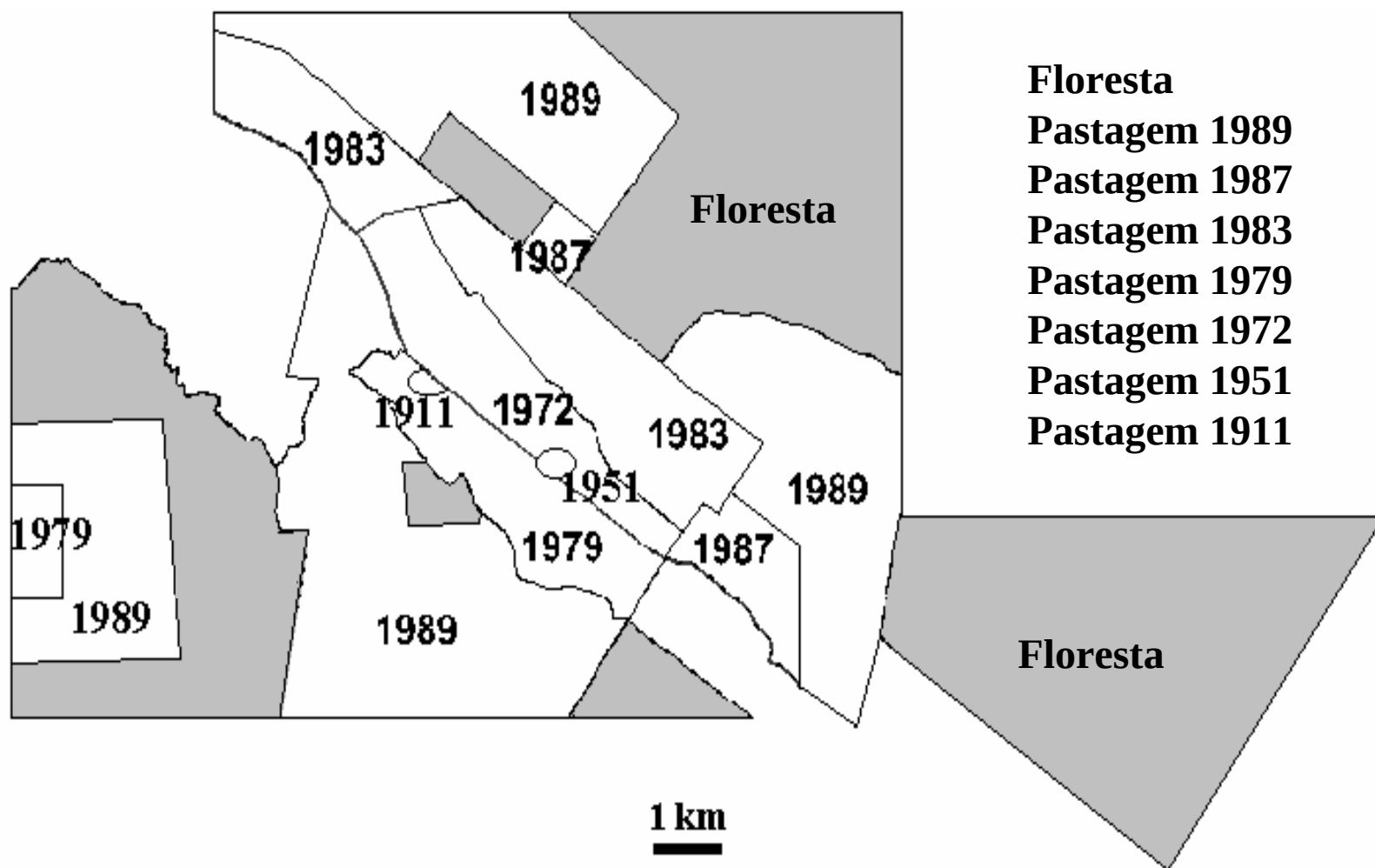
Cronossequência Floresta-Pastagem em Rondônia

Cerri et al. (2004) Global Change Biology

ÁREA DE ESTUDO



Cronossequência floresta-pastagem



Dados climáticos (estação meteorológica em área de pastagem da Fazenda)

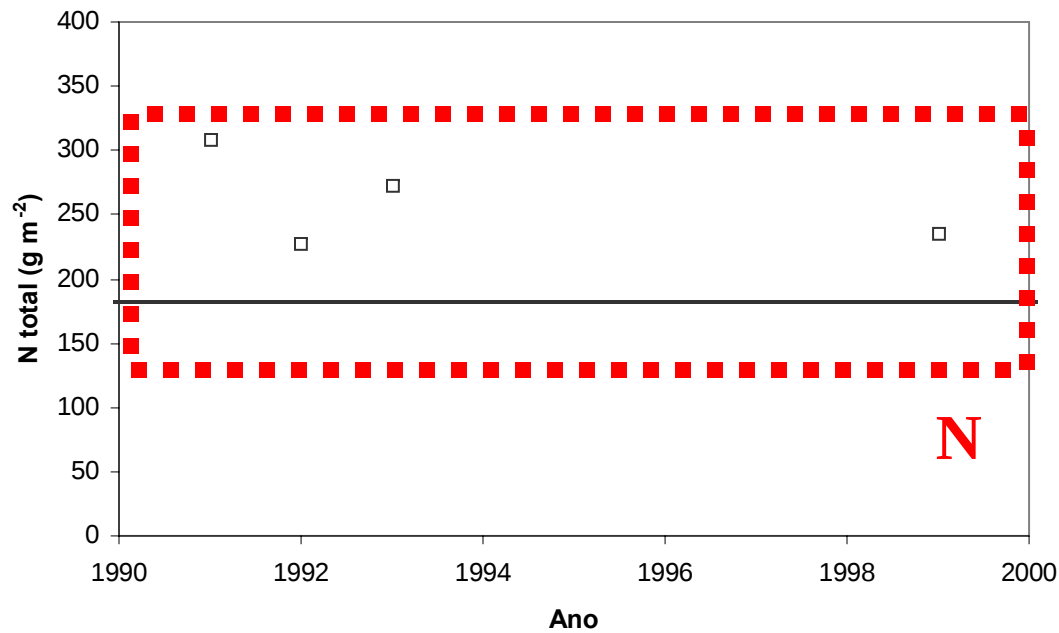
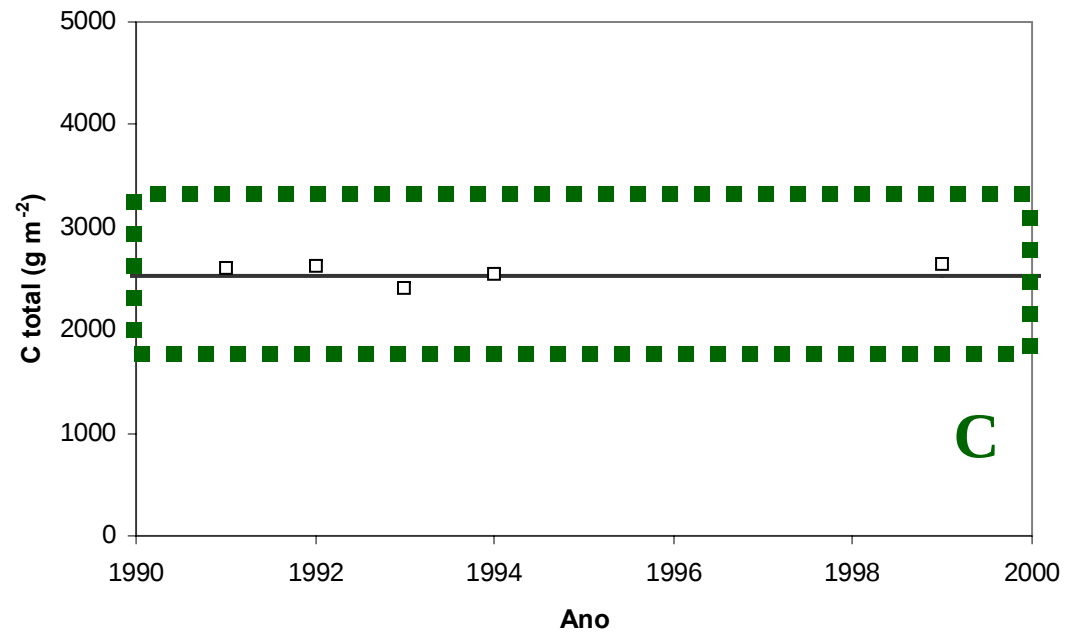
Mês	Temperatura [†]		Precipitação [‡]		
	Mínima	Máxima	Média	Desvio Padrão	Assimetria
	°C		cm		
Janeiro	18.7	34.0	38.5	11.4	0.11
Fevereiro	15.3	27.6	39.2	10.4	1.14
Março	15.4	27.0	33.3	7.5	0.58
Abril	23.6	31.4	17.4	6.6	-0.01
Maio	19.6	32.4	17.7	9.4	0.90
Junho	18.9	32.9	5.8	4.4	2.11
Julho	25.3	33.9	3.4	2.1	0.90
Agosto	24.1	32.9	3.1	2.8	0.82
Setembro	23.5	32.2	11.1	6.6	1.00
Outubro	18.3	28.0	16.2	10.3	1.69
Novembro	20.7	31.9	29.7	8.2	-0.17
Dezembro	24.3	34.3	33.0	8.6	-0.32

[†] Temperatura do ar (período de 4 anos).

[‡] Precipitação (período de 9 anos).

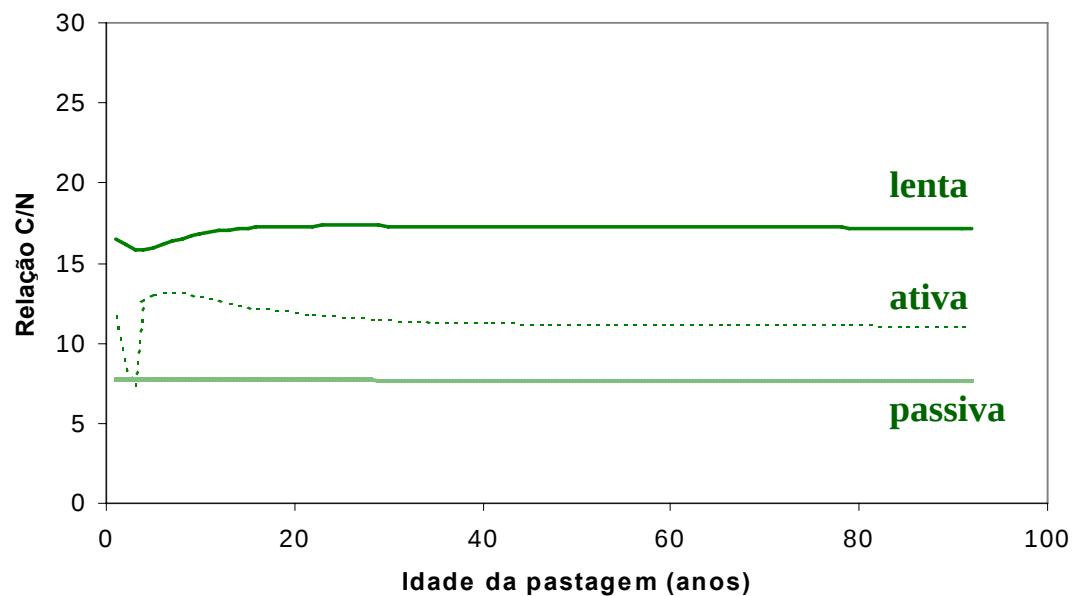
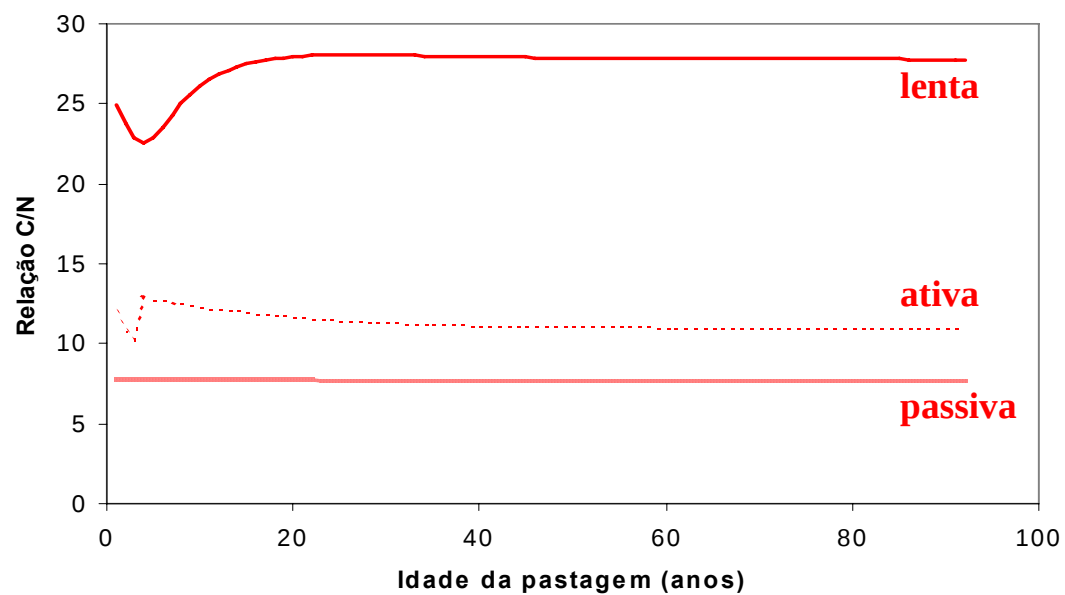
Floresta

Equilíbrio: 10.000 anos

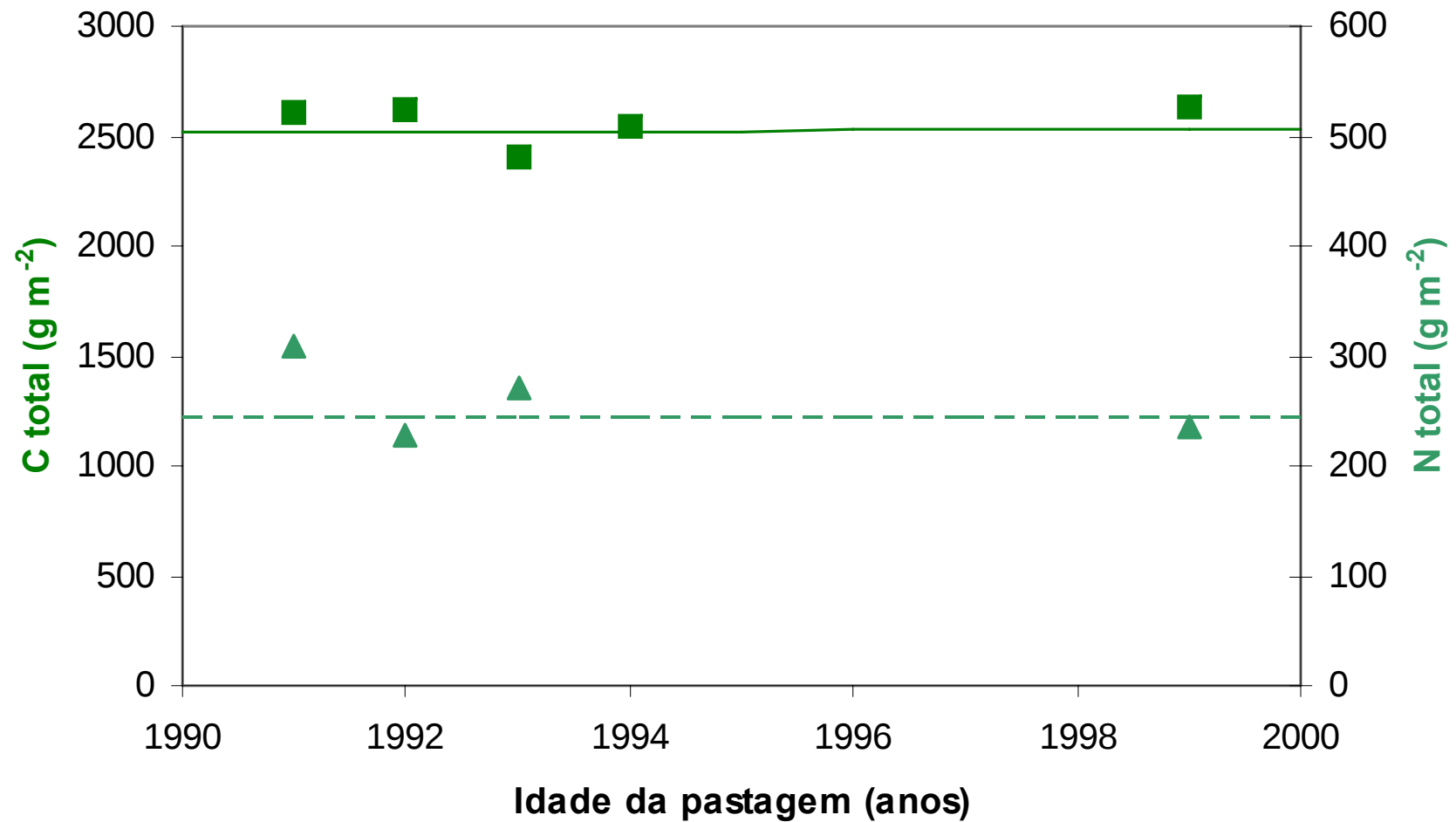


**Valores simulados (linha)
e medidos (símbolos) de C e
N total na camada 0-20 cm**

Correção do código fonte do modelo

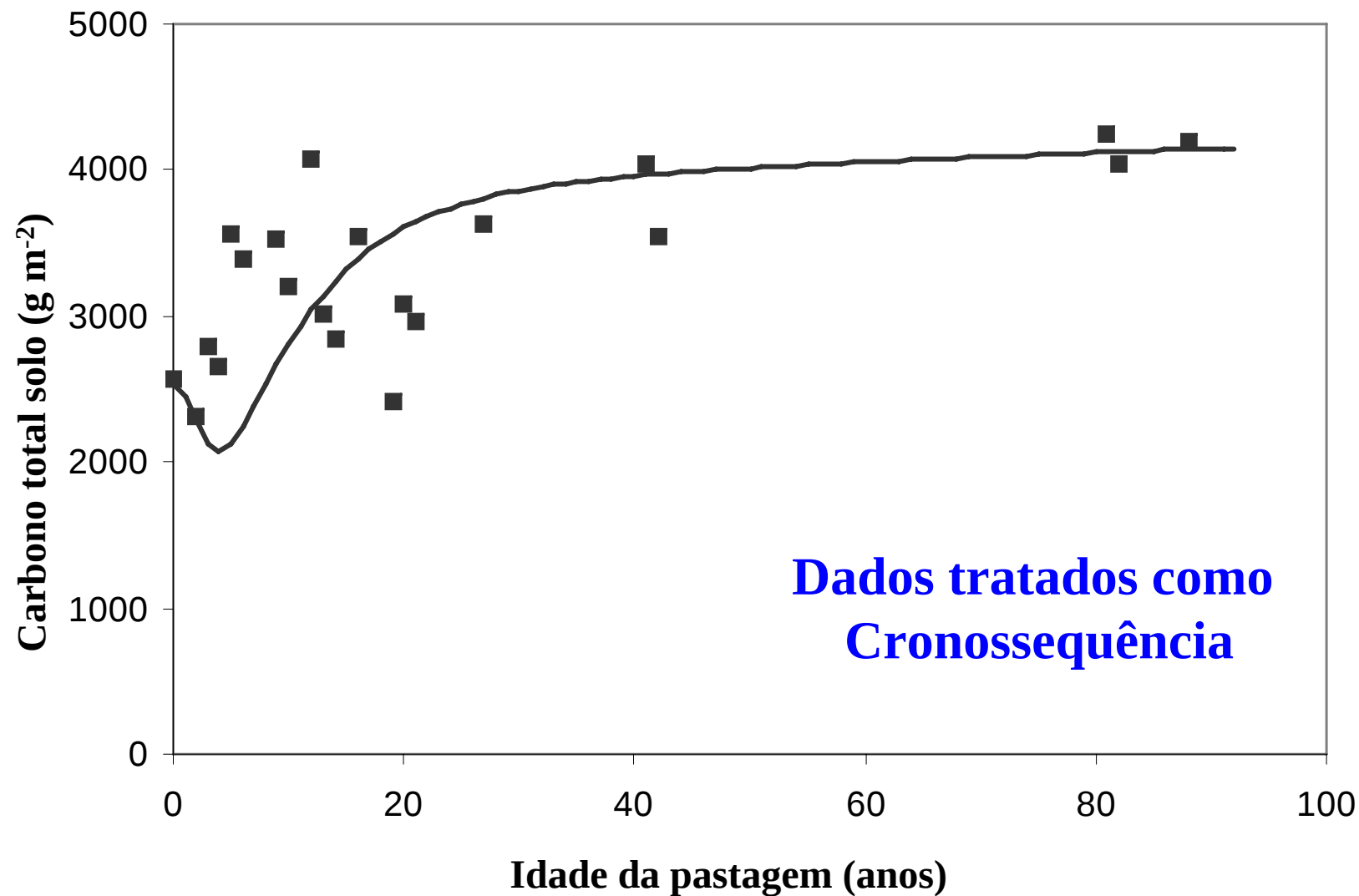


Após correção do código fonte do modelo

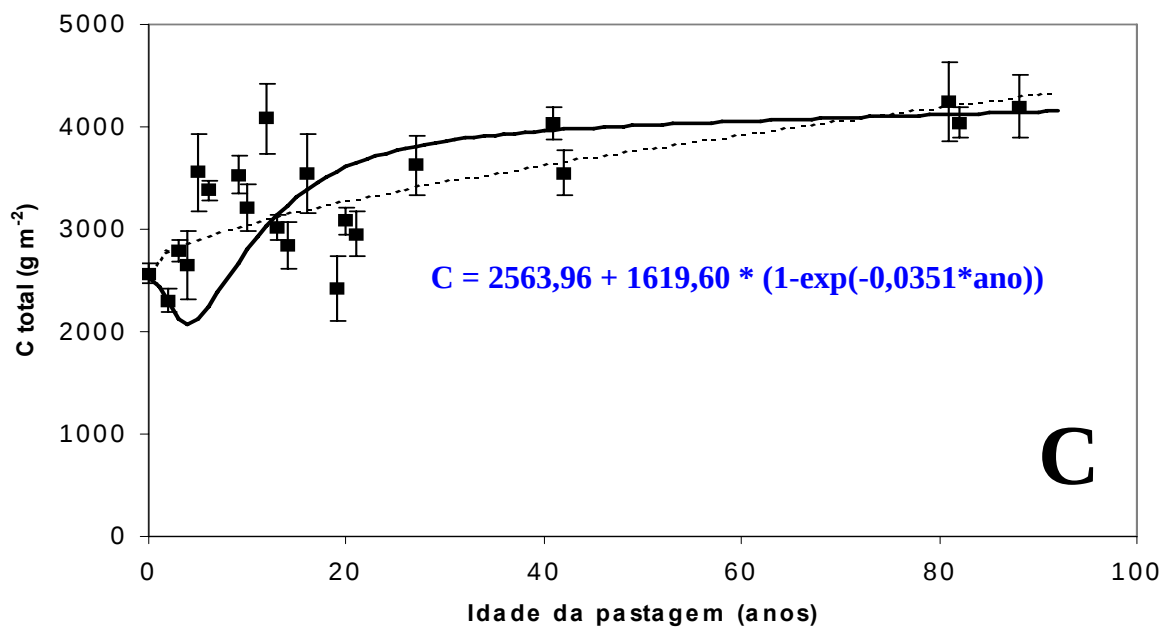


Valores de C e N total simulados e observados para as áreas de pastagem

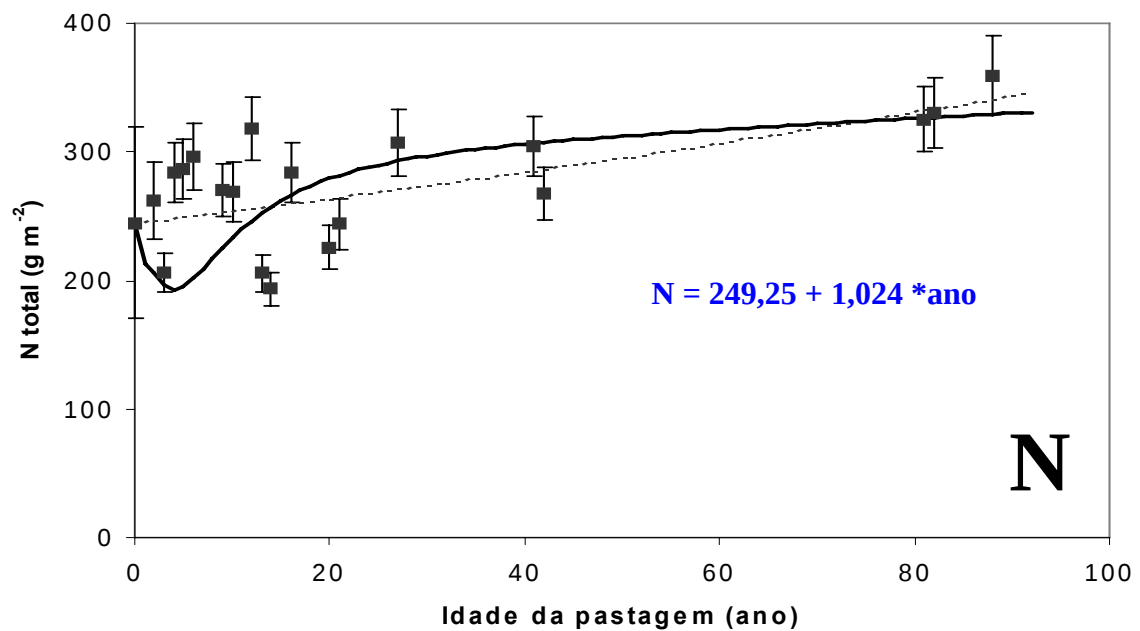
Ano de instalação da pastagem	Ano amostrado	Idade da pastagem	Valores simulados		Valores observados		Diferença [‡]	
			C total	N total	C total	N total	C total	N total
anos			g m ⁻²				%	
1911	1992	81	3750	234	4243 (389)	325 (25)	-12	-28
	1993	82	3750	234	4040 (147)	330 (27)	-7	-29
	1999	88	3750	235	4201 (305)	359 (31)	-11	-35
1951	1992	41	4050	253	4035 (151)	304 (23)	0	-17
	1993	42	4060	253	3549 (217)	268 (20)	14	-5
1972	1991	19	3770	237	2420 (313)	-	56	-
	1992	20	3810	238	3082 (128)	226 (17)	24	6
	1993	21	3850	240	2956 (221)	244 (20)	30	-2
	1999	27	4000	249	3544 (382)	284 (23)	13	-13
1979	1992	13	3360	218	3018 (120)	206 (14)	11	6
	1993	14	3440	221	2838 (228)	193 (13)	21	14
1983	1992	9	2940	204	3534 (186)	270 (21)	-17	-24
	1993	10	3060	208	3207 (231)	269 (23)	-5	-23
	1999	16	3520	224	3626 (287)	308 (26)	-3	-27
1987	1991	4	2290	184	2690 (304)	309 (35)	-15	-40
	1992	5	2440	189	3555 (382)	286 (23)	-32	-34
	1993	6	2590	194	3385 (97)	296 (26)	-23	-34
	1999	12	3340	220	4081 (342)	318 (25)	-18	-31
1989	1991	2	2080	175	2303 (113)	262 (30)	-10	-33
	1992	3	2120	196	2792 (108)	206 (15)	-31	-6
	1993	4	2150	178	2792 (337)	207 (15)	-23	-14
	1999	10	2270	182	2618 (273)	260 (26)	-13	-30



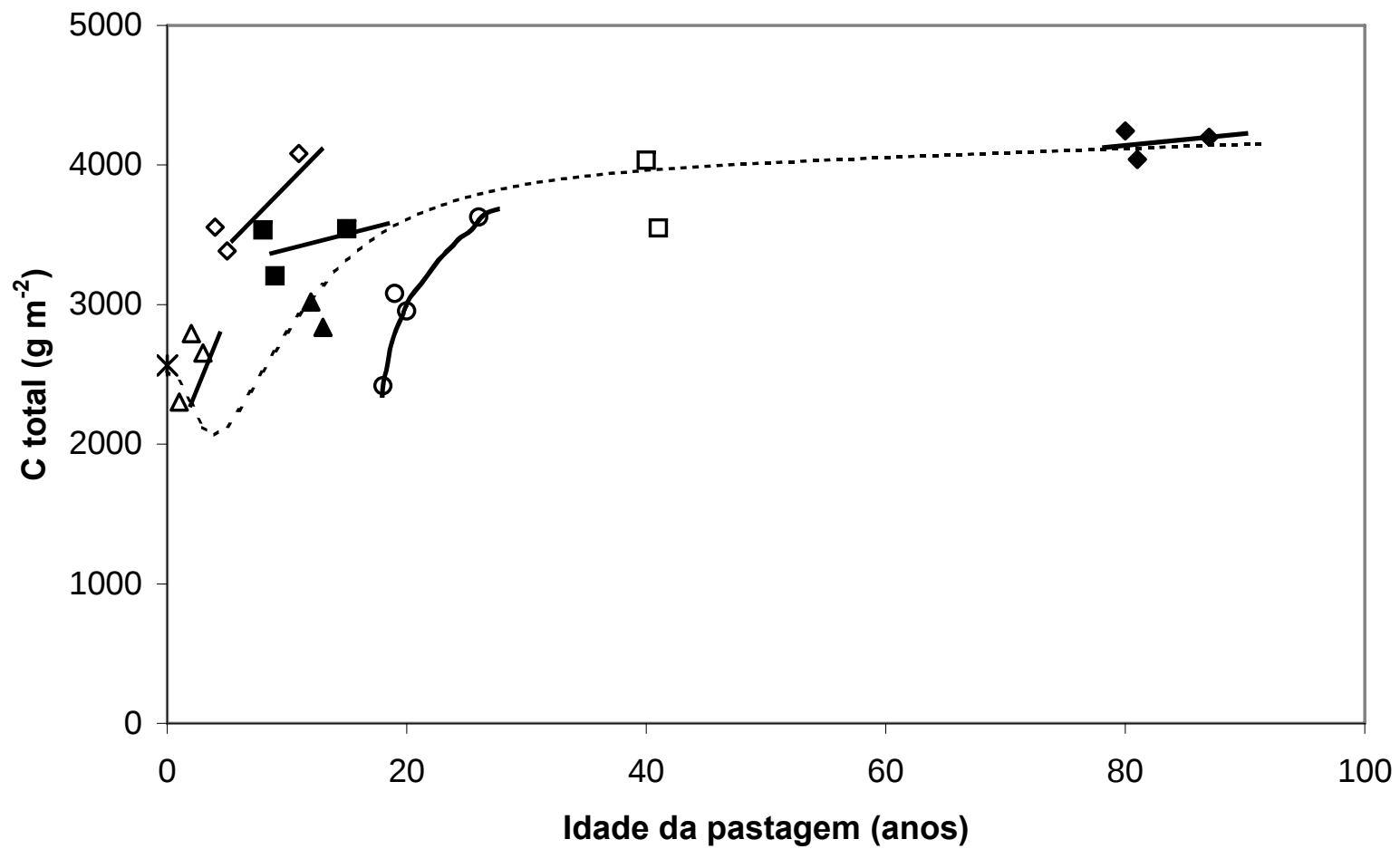
Valores simulados (linha contínua) e medidos (símbolos) de C total do solo na camada 0-20 cm de profundidade



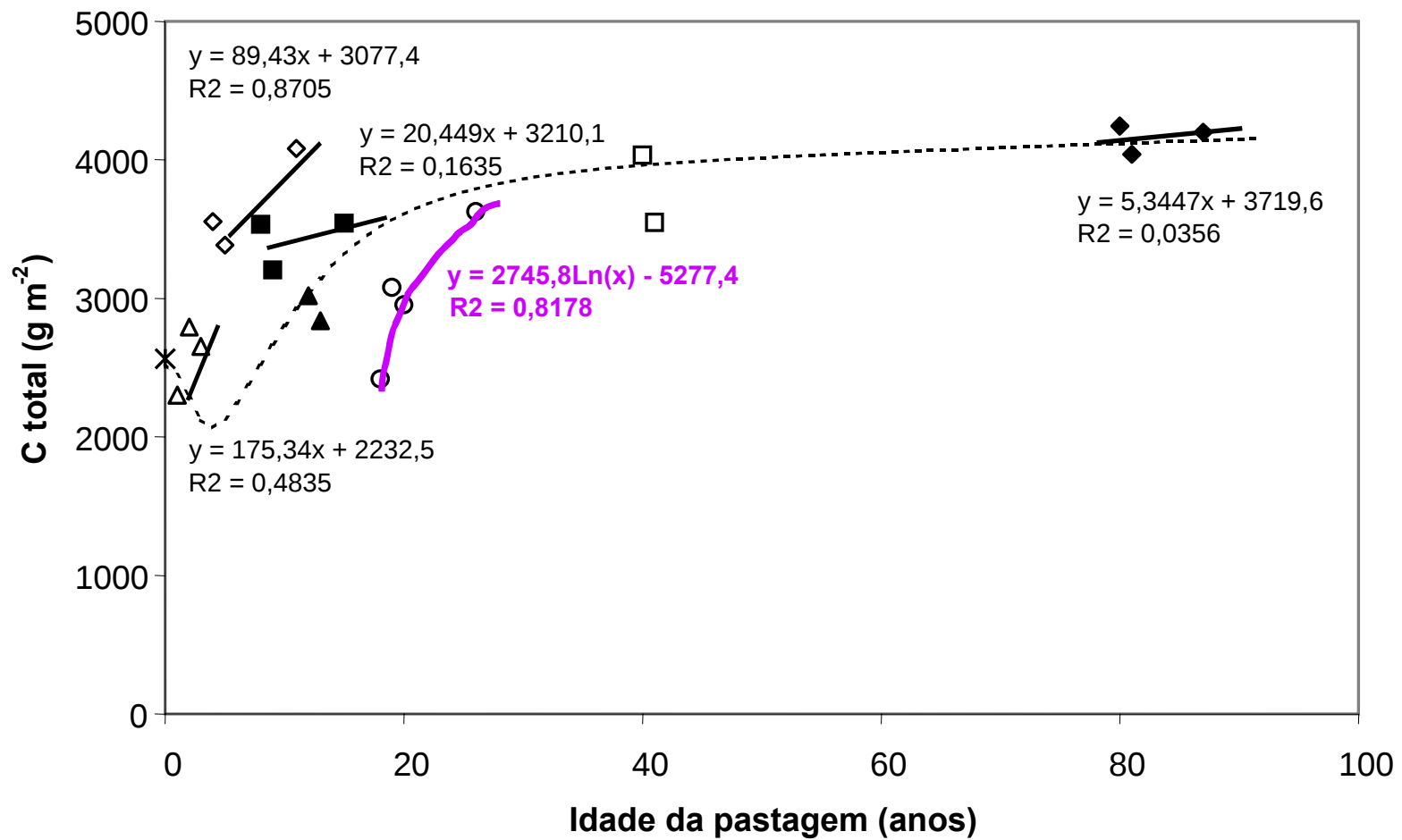
Modelo empírico



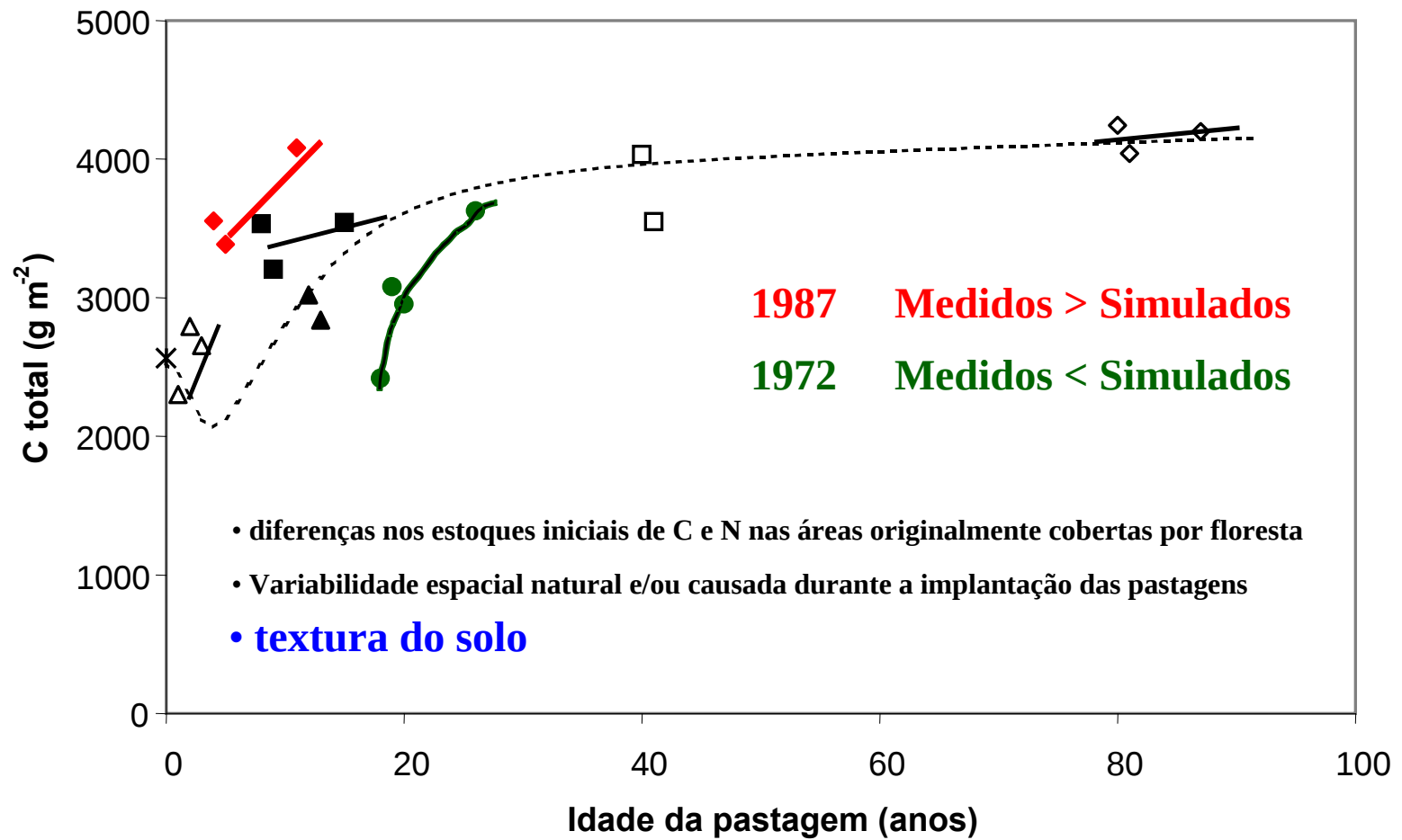
Ajuste da melhor curva (SAS) para cada uma das pastagens



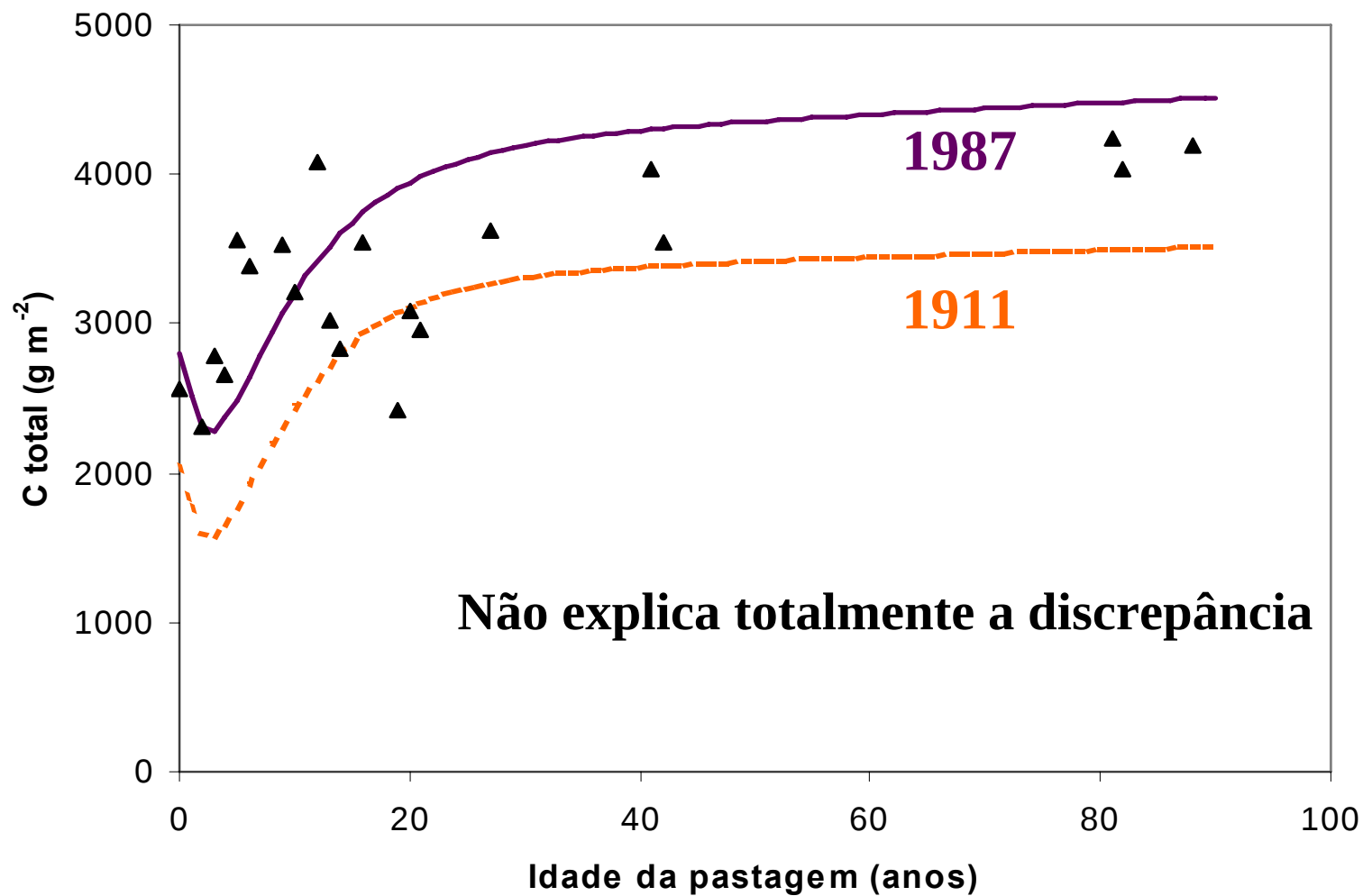
Ajuste da melhor curva (SAS) para cada uma das pastagens



Ajuste da melhor curva (SAS) para cada uma das 7 pastagens



Textura do solo



Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					n
	r	CD	CRM	RMSE %	M g m ⁻²	
Century: C total	0,57	0,79	0,003	17,31	9,32	21
Century: N total	0,44	0,70	0,069	19,08	18,95	20
Empírico: C total	0,70	1,53	0,011	12,72	38,70	21
Empírico: N total	0,63	2,47	0,001	12,27	-0,05	20
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
 CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
 M: diferença média entre observações e simulações.

Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					n
	r	CD	CRM	RMSE %	M g m ⁻²	
Century: C total	0,57	0,79	0,003	17,31	9,32	21
Century: N total	0,44	0,70	0,069	19,08	18,95	20
Empírico: C total	0,70	1,53	0,011	12,72	38,70	21
Empírico: N total	0,63	2,47	0,001	12,27	-0,05	20
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
 CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
 M: diferença média entre observações e simulações.

Moderado grau de associação entre valores simulados e medidos

Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					
	r	CD	CRM	RMSE	M	n
				%	g m ⁻²	
Century: C total	0,57	0,79	0,003	17,31	9,32	21
Century: N total	0,44	0,70	0,069	19,08	18,95	20
Empírico: C total	0,70	1,53	0,011	12,72	38,70	21
Empírico: N total	0,63	2,47	0,001	12,27	-0,05	20
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
 CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
 M: diferença média entre observações e simulações.

Pequena diferença entre as variâncias dos valores medidos e simulados

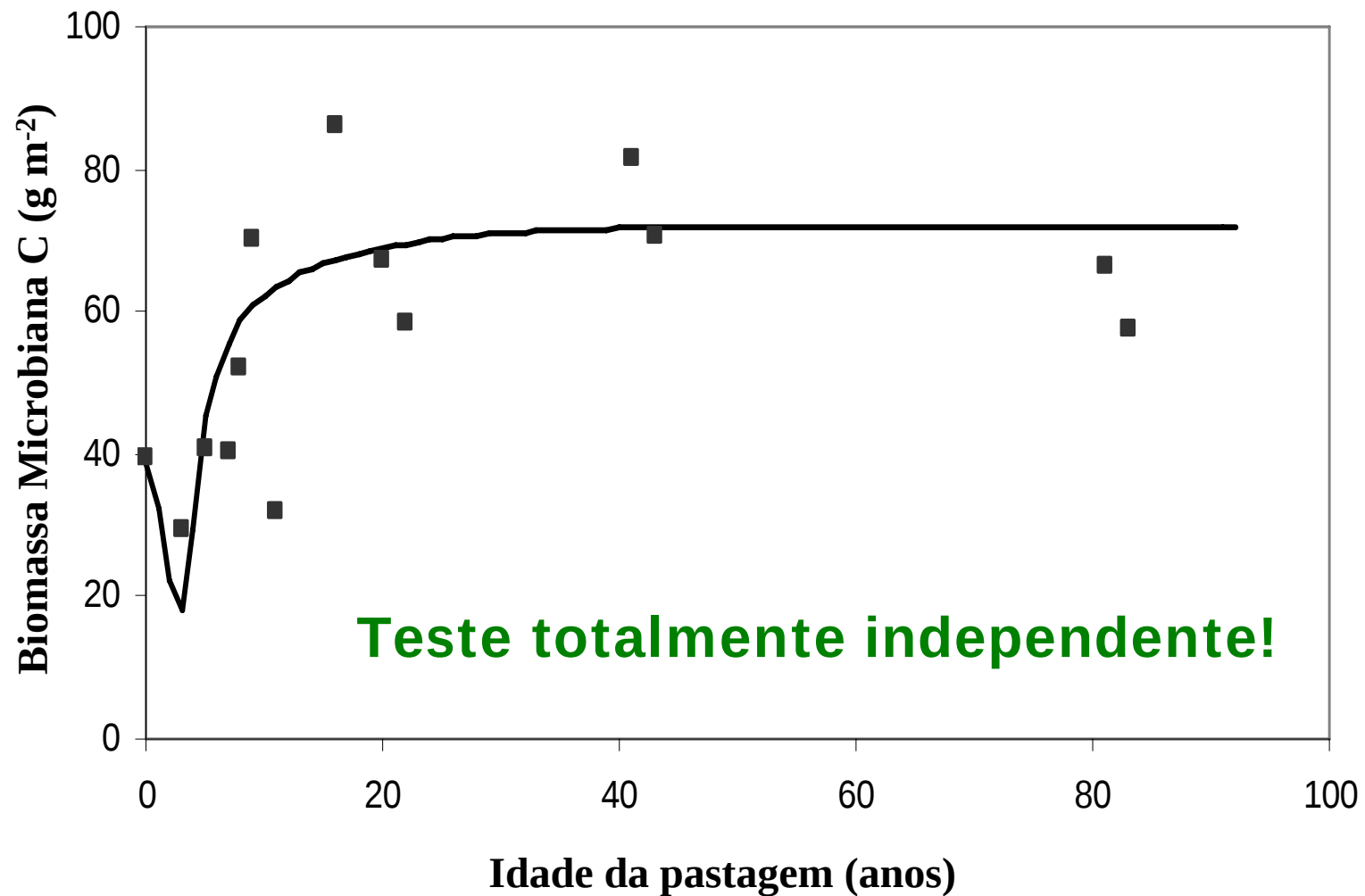
Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					n
	r	CD	CRM	RMSE %	M g m ⁻²	
Century: C total	0,57	0,79	0,003	17,31	9,32	21
Century: N total	0,44	0,70	0,069	19,08	18,95	20
Empírico: C total	0,70	1,53	0,011	12,72	38,70	21
Empírico: N total	0,63	2,47	0,001	12,27	-0,05	20
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
 CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
 M: diferença média entre observações e simulações.

Negligível tendenciosidade nos valores simulados
Moderado erro total e Pequeno erro sistemático
entre valores simulados e medidos

Biomassa Microbiana C na cronossequência floresta-pastagem



Valores simulados (linha contínua) e medidos (símbolos) de C total do solo na camada 0-10 cm de profundidade

Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					n
	r	CD	CRM	RMSE %	M g m ⁻²	
Century: Biomassa microbial C	0,71	1,26	0,050	22,80	-3,02	14
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

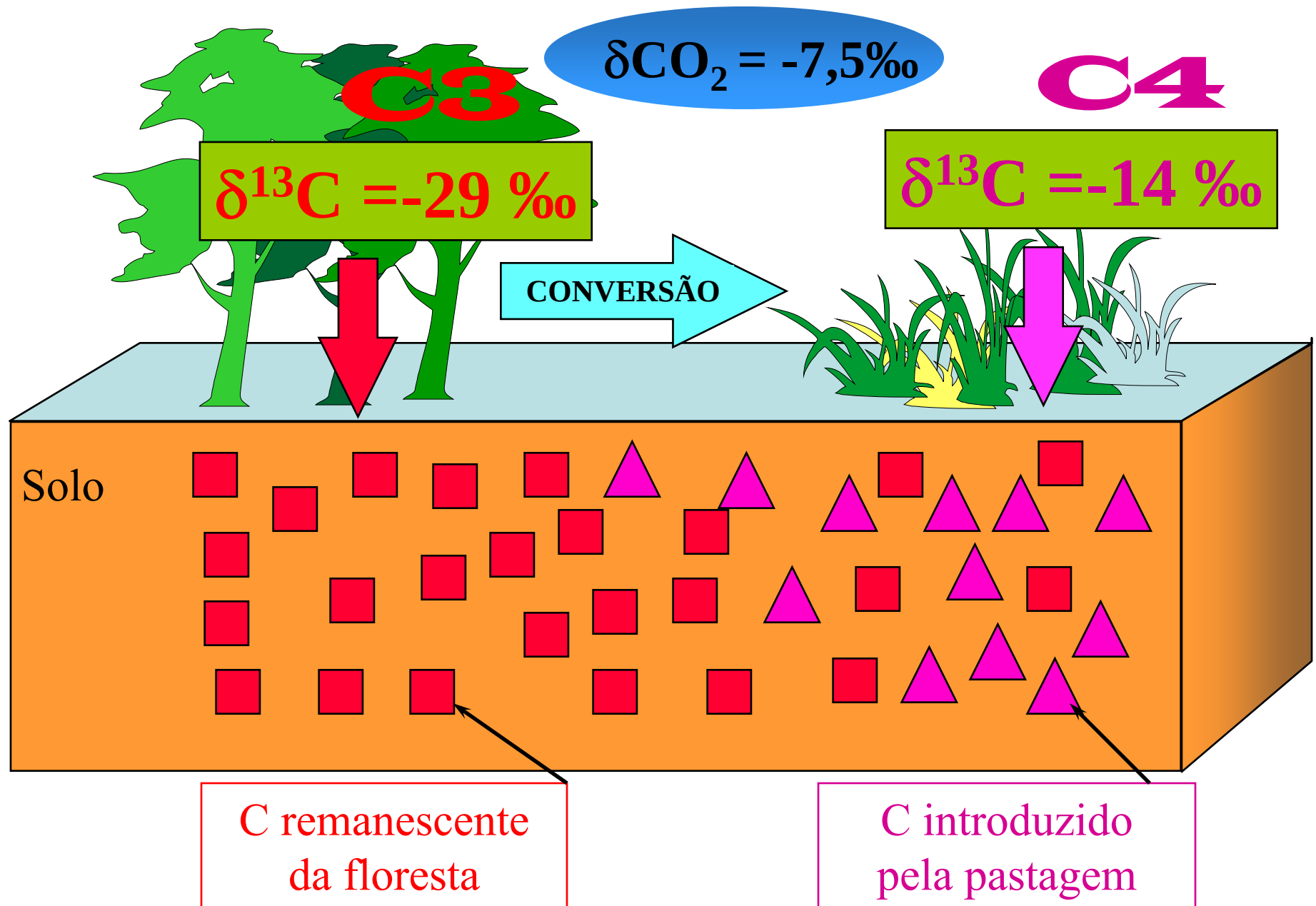
r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
 CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
 M: diferença média entre observações e simulações.

Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					n
	r	CD	CRM	RMSE	M	
				%	g m ⁻²	
Century: Biomassa microbial C	0,71	1,26	0,050	22,80	-3,02	14
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
 CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
 M: diferença média entre observações e simulações.

$\delta^{13}\text{C}$ do solo na cronossequência floresta-pastagem



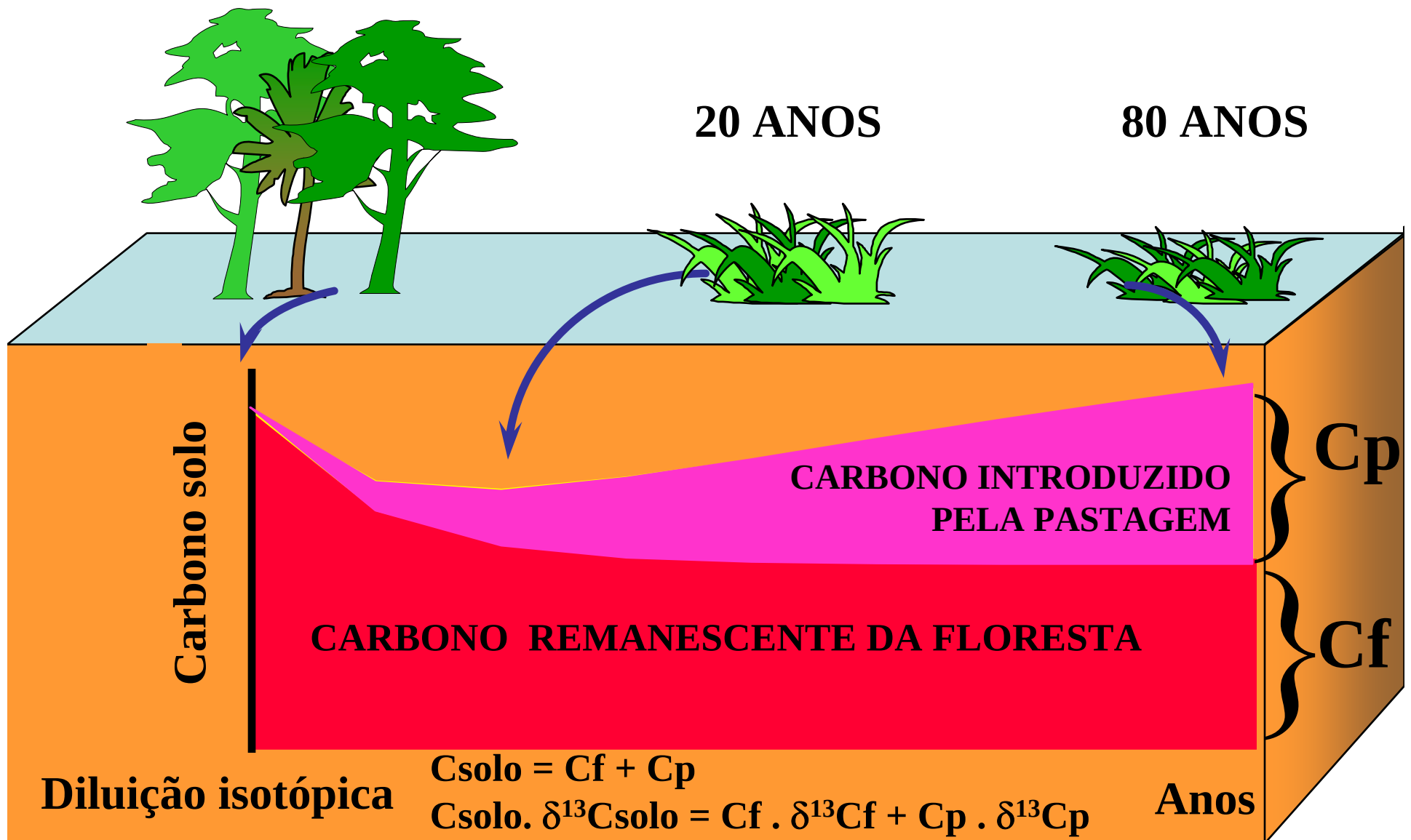
$\delta^{13}\text{C}$ do solo na cronossequência floresta-pastagem

Floresta (C3)
 $\delta^{13}\text{C} = -29 \text{ ‰}$

Pastagem (C4)
 $\delta^{13}\text{C} = -14 \text{ ‰}$

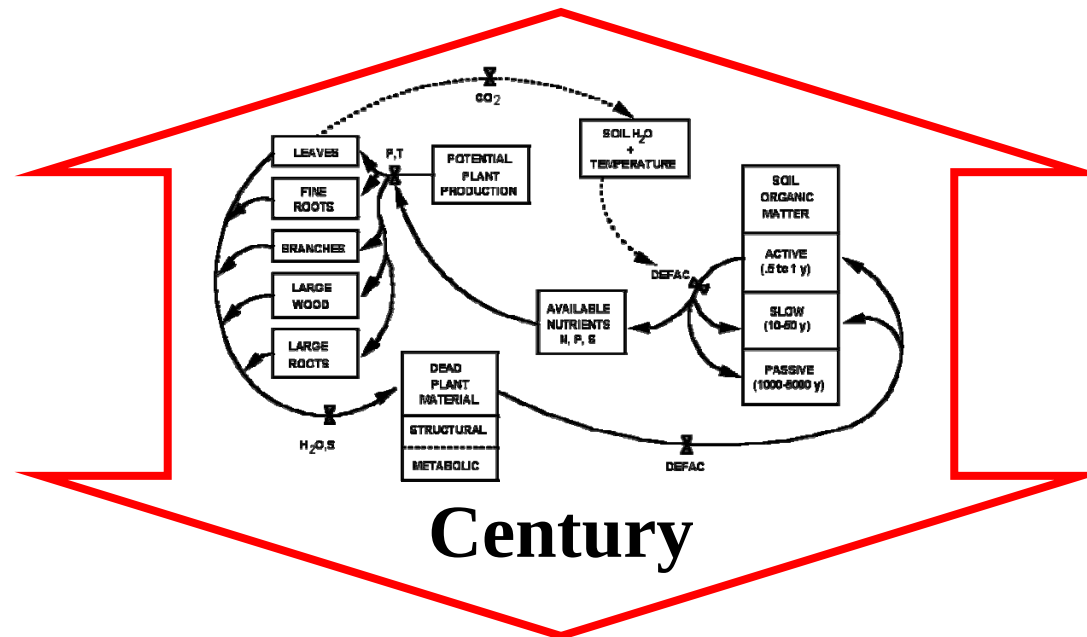
20 ANOS

80 ANOS



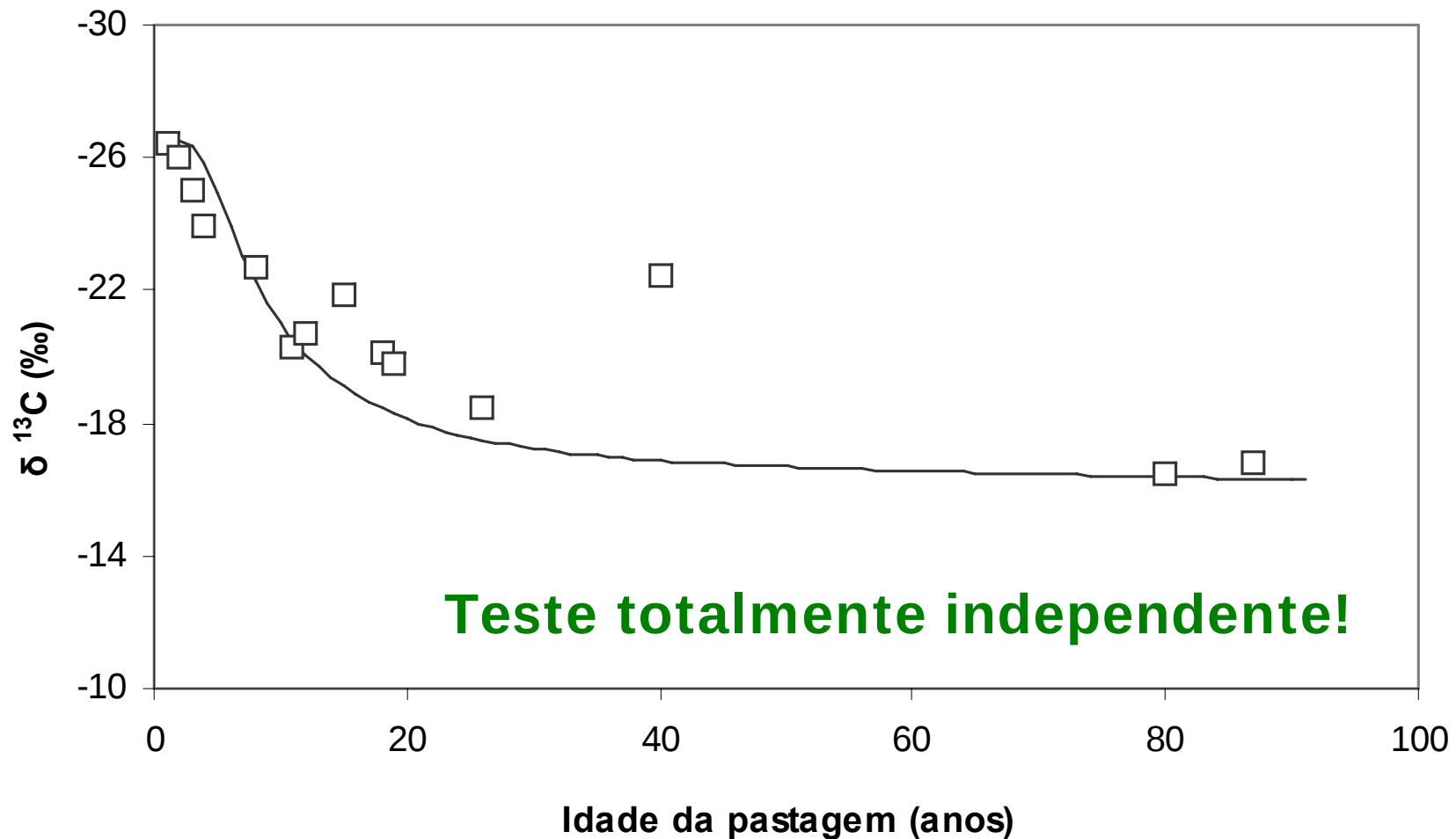
$\delta^{13}\text{C}$ do solo na cronossequência floresta-pastagem

Valores medidos de ^{13}C : Liteira da floresta ($-28 \pm 1,64\text{‰}$)
Brachiaria brizantha ($-14,3 \pm 0,56\text{‰}$)
Panicum maximum ($-15,49 \pm 1,75\text{‰}$)



Simulação da dinâmica do $\delta^{13}\text{C}$ do solo
na cronossequência floresta-pastagem

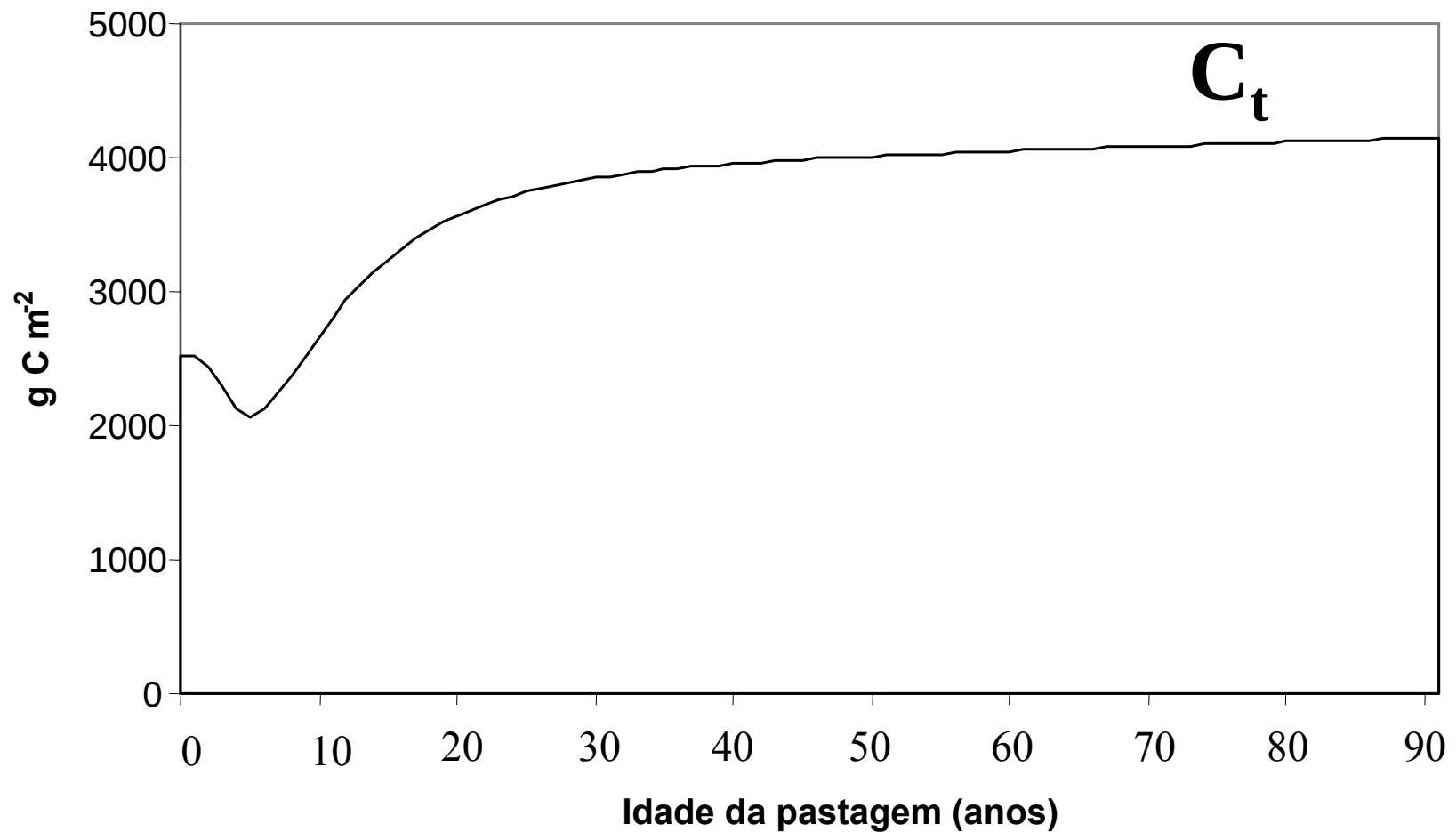
$\delta^{13}\text{C}$ do solo na cronossequência floresta-pastagem



Valores simulados (linha contínua) e medidos (símbolos) de $\delta^{13}\text{C}$ total do solo na camada 0-20 cm de profundidade

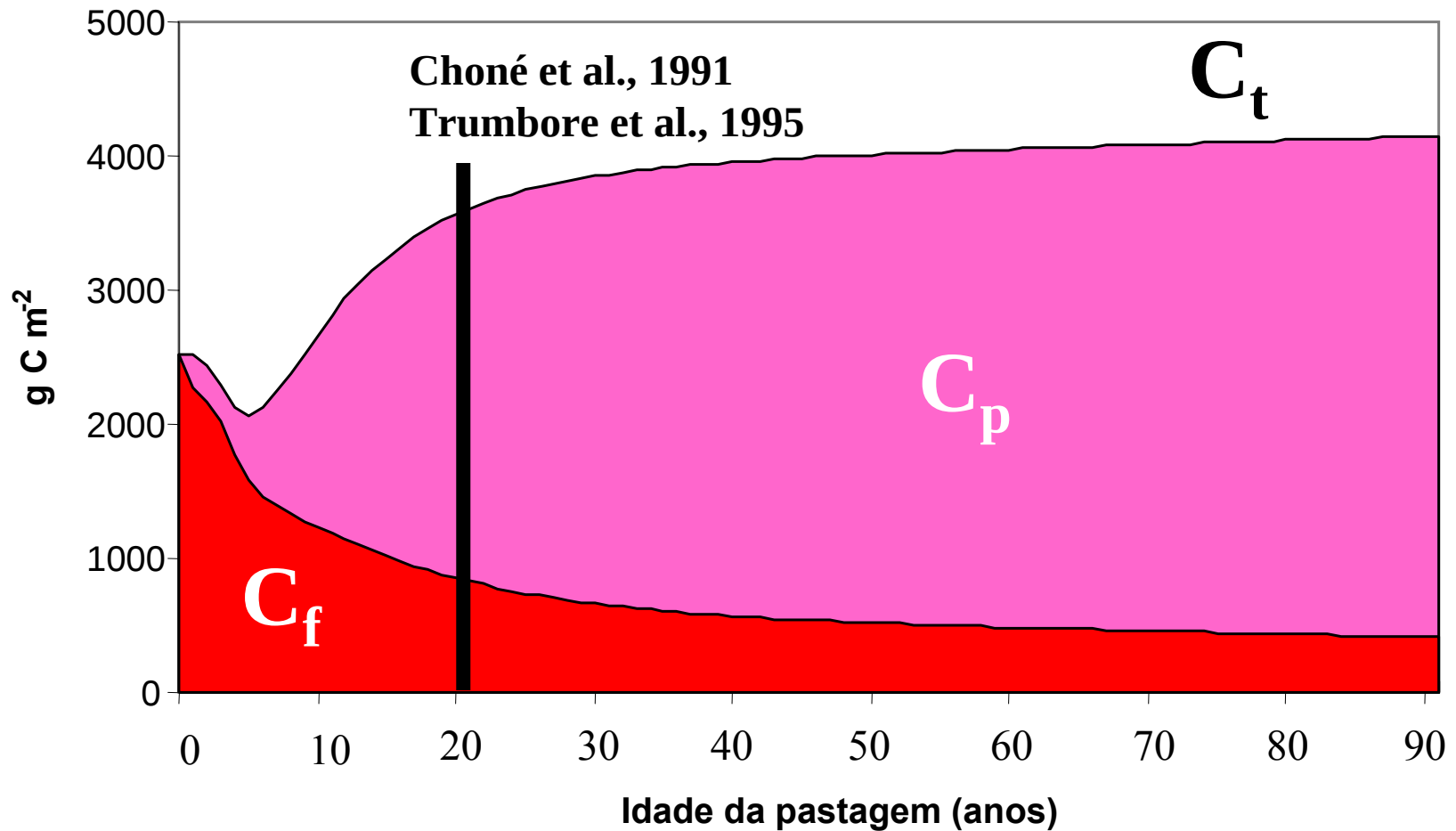
$\delta^{13}\text{C}$ do solo na cronossequência floresta-pastagem

Contribuição relativa do C derivado da floresta (C_f) e do C derivado da pastagem (C_p)



$\delta^{13}\text{C}$ do solo na cronossequência floresta-pastagem

Contribuição relativa do C derivado da floresta (C_f) e do C derivado da pastagem (C_p)



Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					n
	r	CD	CRM	RMSE	M	
Century: $\delta^{13}\text{C}$	0,90	0,63	0,046	8,94	-0,99	14
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

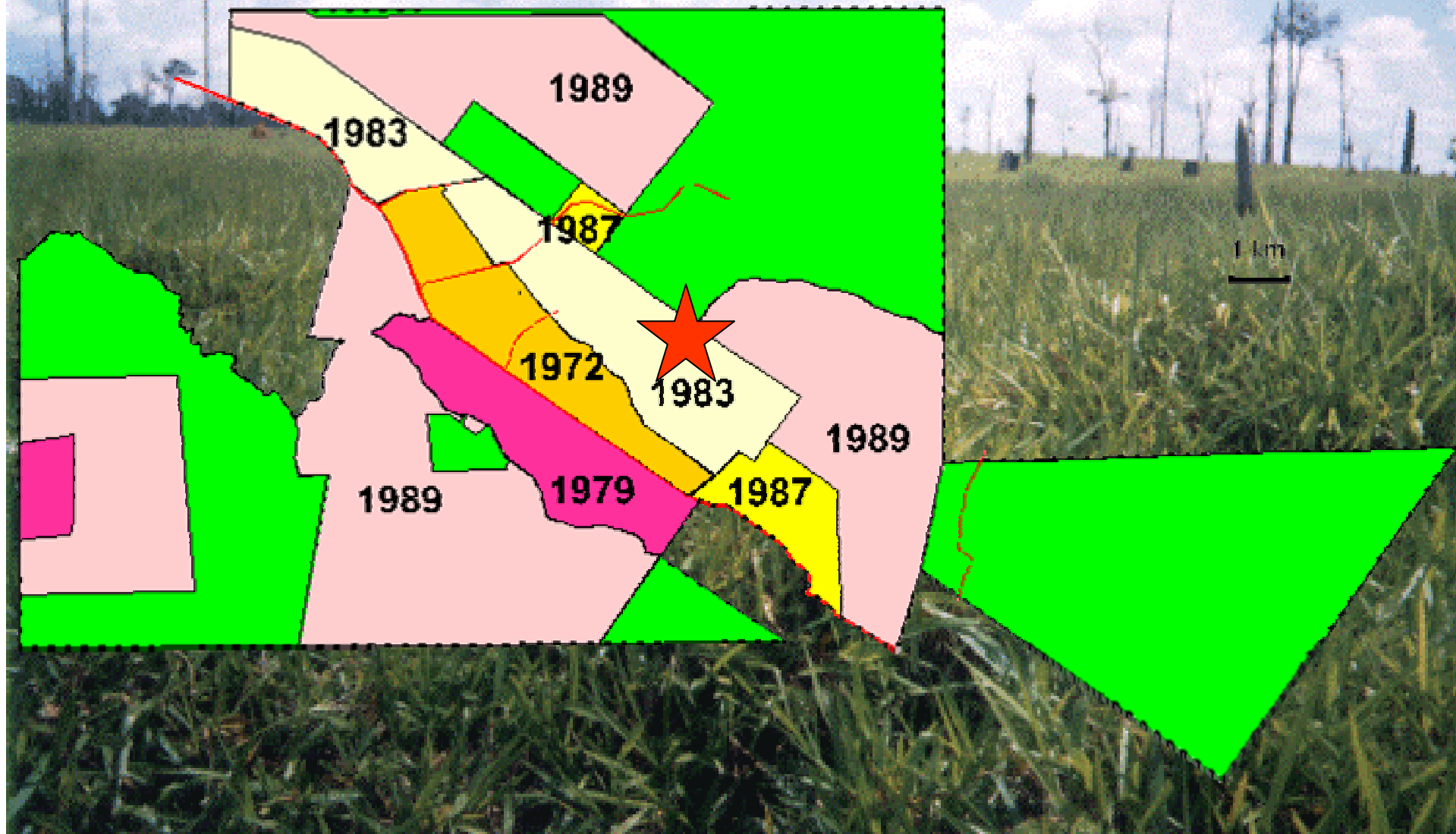
r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
M: diferença média entre observações e simulações.

Testes estatísticos aplicados para verificação da concordância entre valores simulados e observados

Modelo: Dado	Teste estatístico					n
	r	CD	CRM	RMSE	M	
Century: $\delta^{13}\text{C}$	0,90	0,63	0,046	8,94	-0,99	14
Valor da concordância perfeita	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	

r: coeficiente de correlção, CD: coeficiente de determinação,
 CRM: coeficiente de massa residual; RMSE: raiz quadrada do erro médio,
 M: diferença média entre observações e simulações.

Pastagem criada em 1983



Área de estudo na Fazenda Nova Vida (RO)

Humic Xanthic Acrudox (HX)

Xanthic Acrudox (XA)

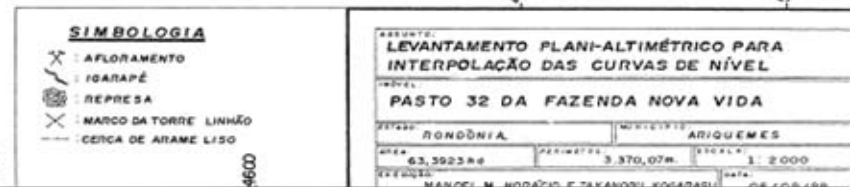
5 tipos de solos

Typic Acrudox (TA)

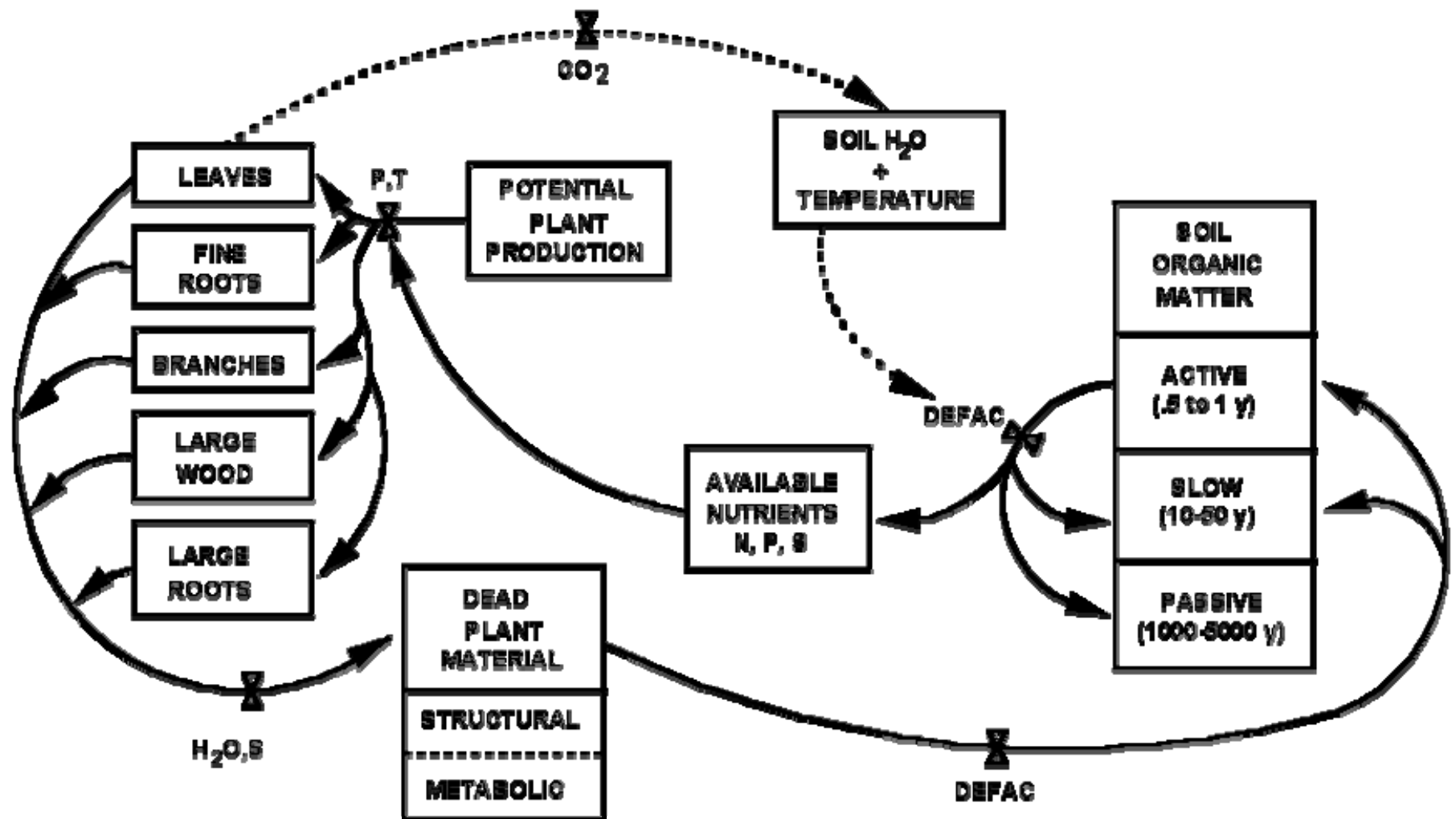
Rhodic Acrudox (RA)

Typic Plinthudult (TP)

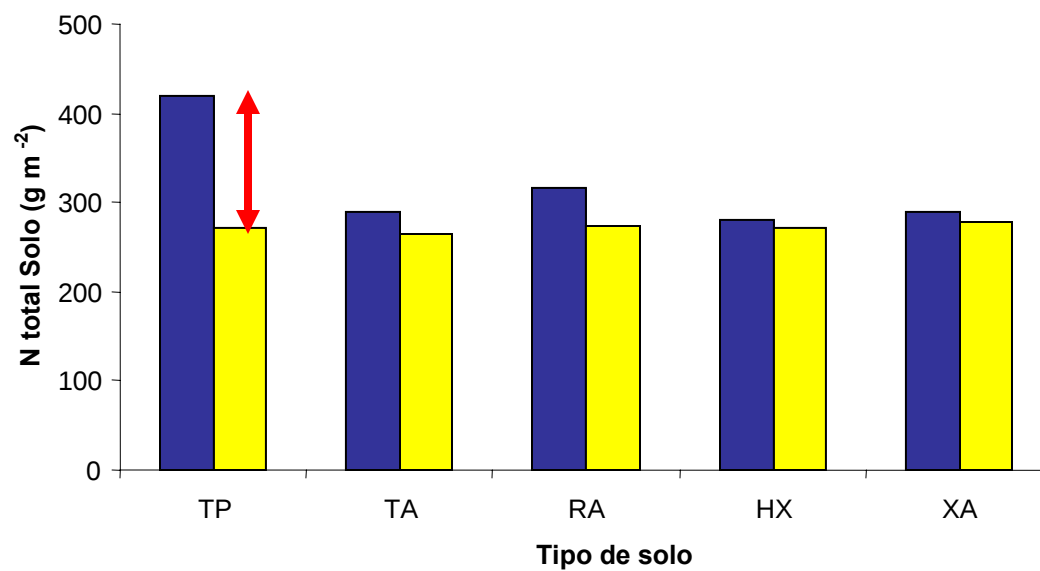
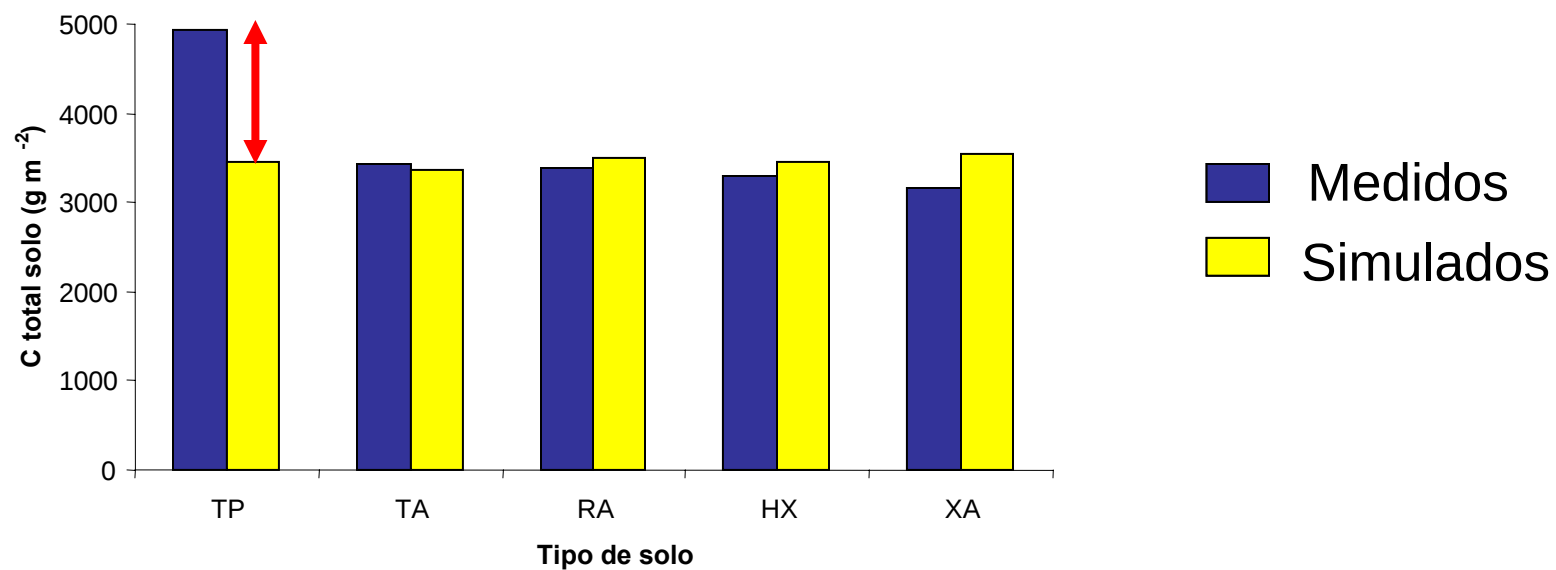
- Yellow Oxisol
- Intermediary Oxisol
- Red Oxisol
- Humic Oxisol
- Oxisol/Hydromorphic
- Rock



MODELO CENTURY

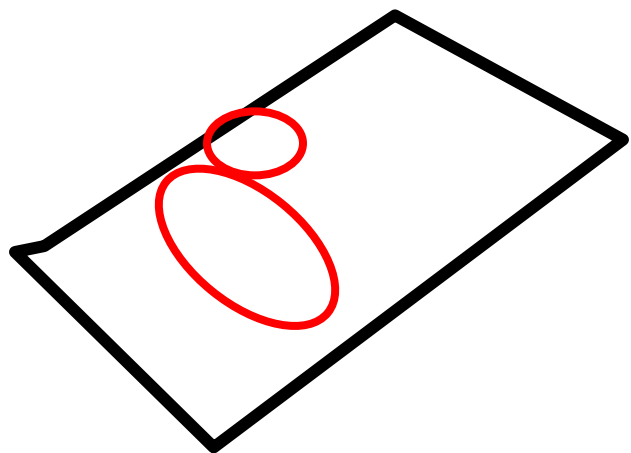


Resultados simulação para C e N totais no solo (0-20cm)



Resultados simulação para Carbono total no solo (0-20cm)

Solo TP



Condições Anaeróbicas



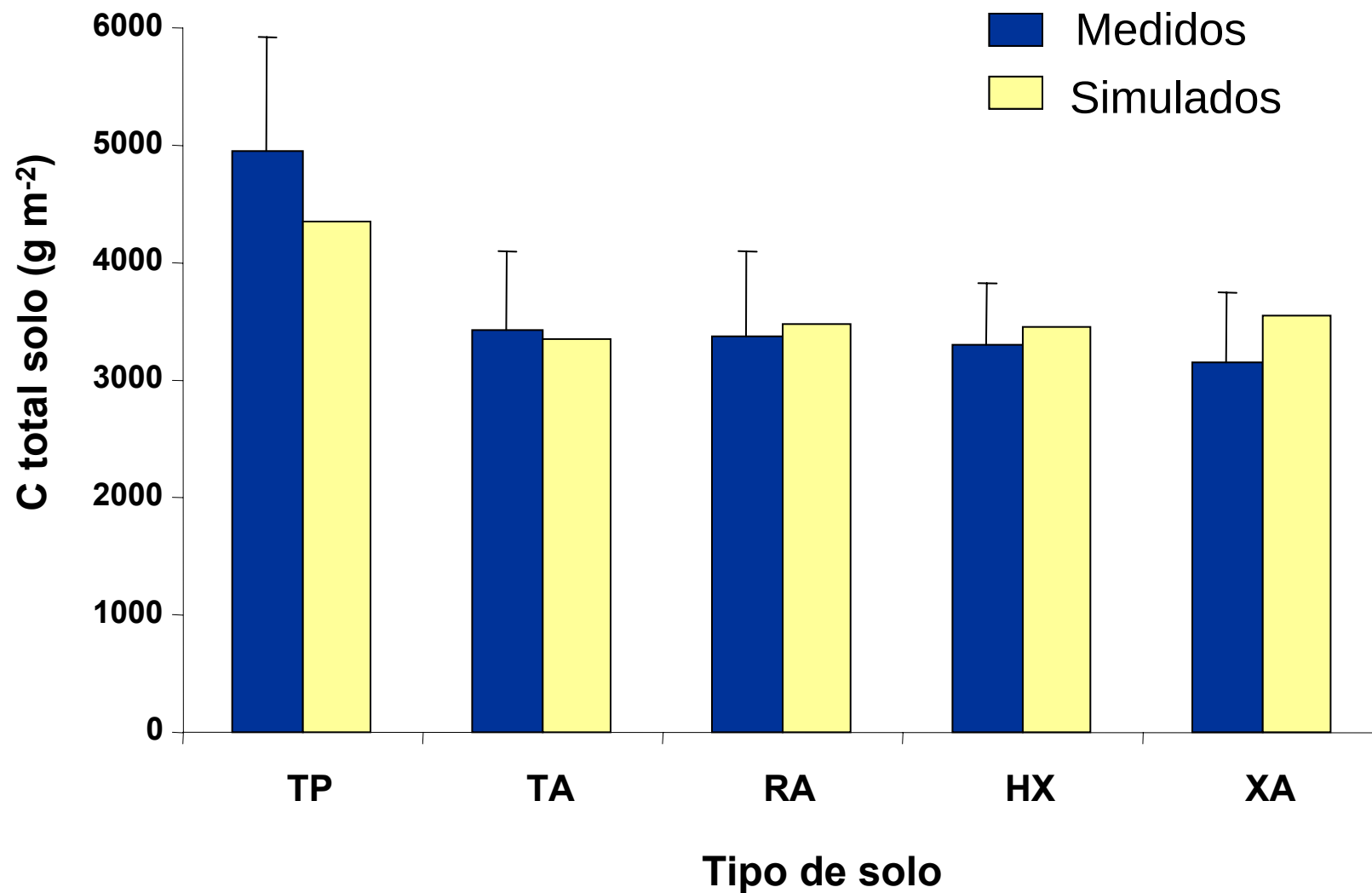
Solo TP

Condições Anaeróbicas

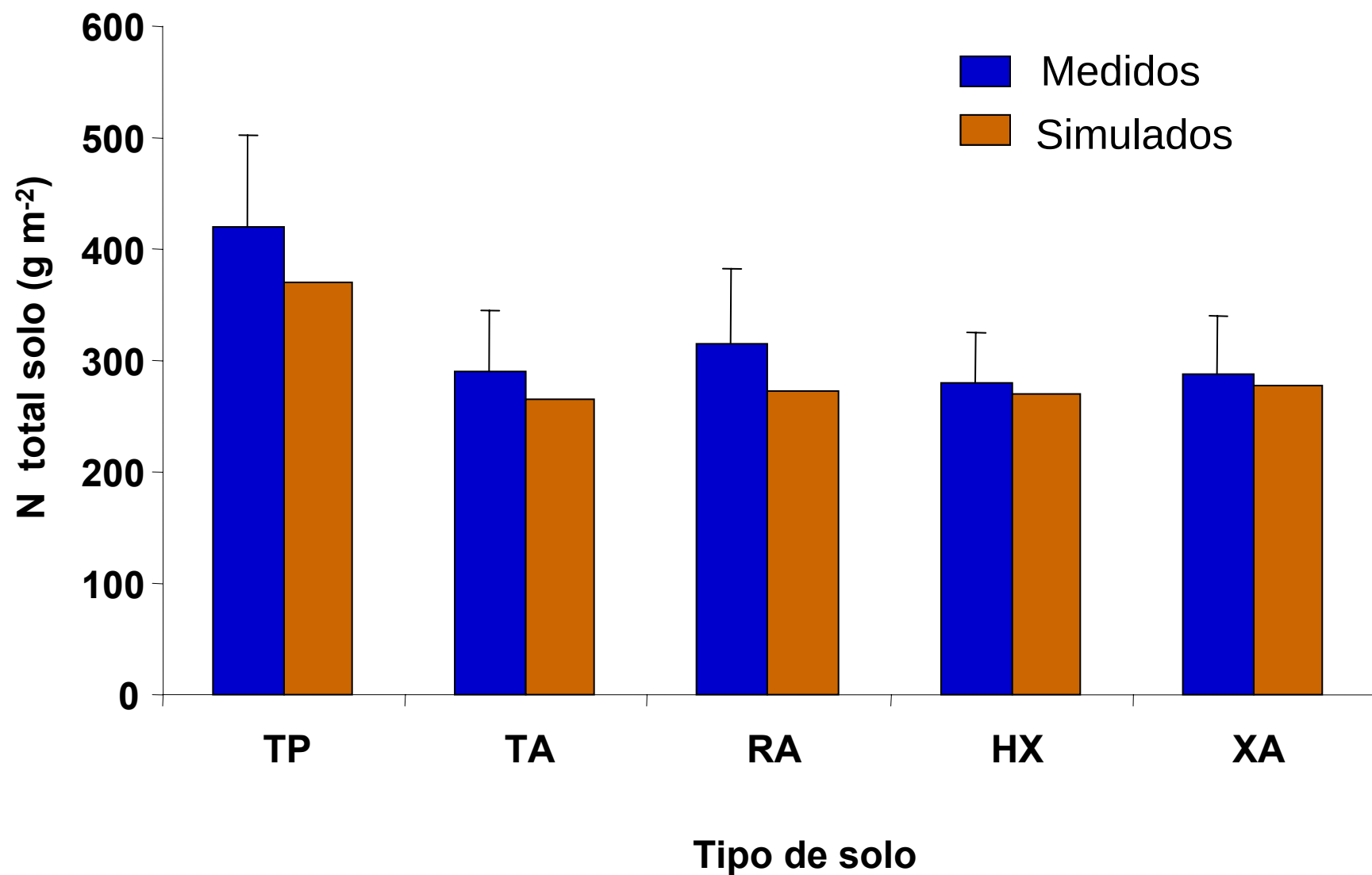
Parâmetro “Drain”
no arquivo “site.100”



Resultados simulação para C total no solo (0-20cm)



Resultados simulação para N total no solo (0-20cm)

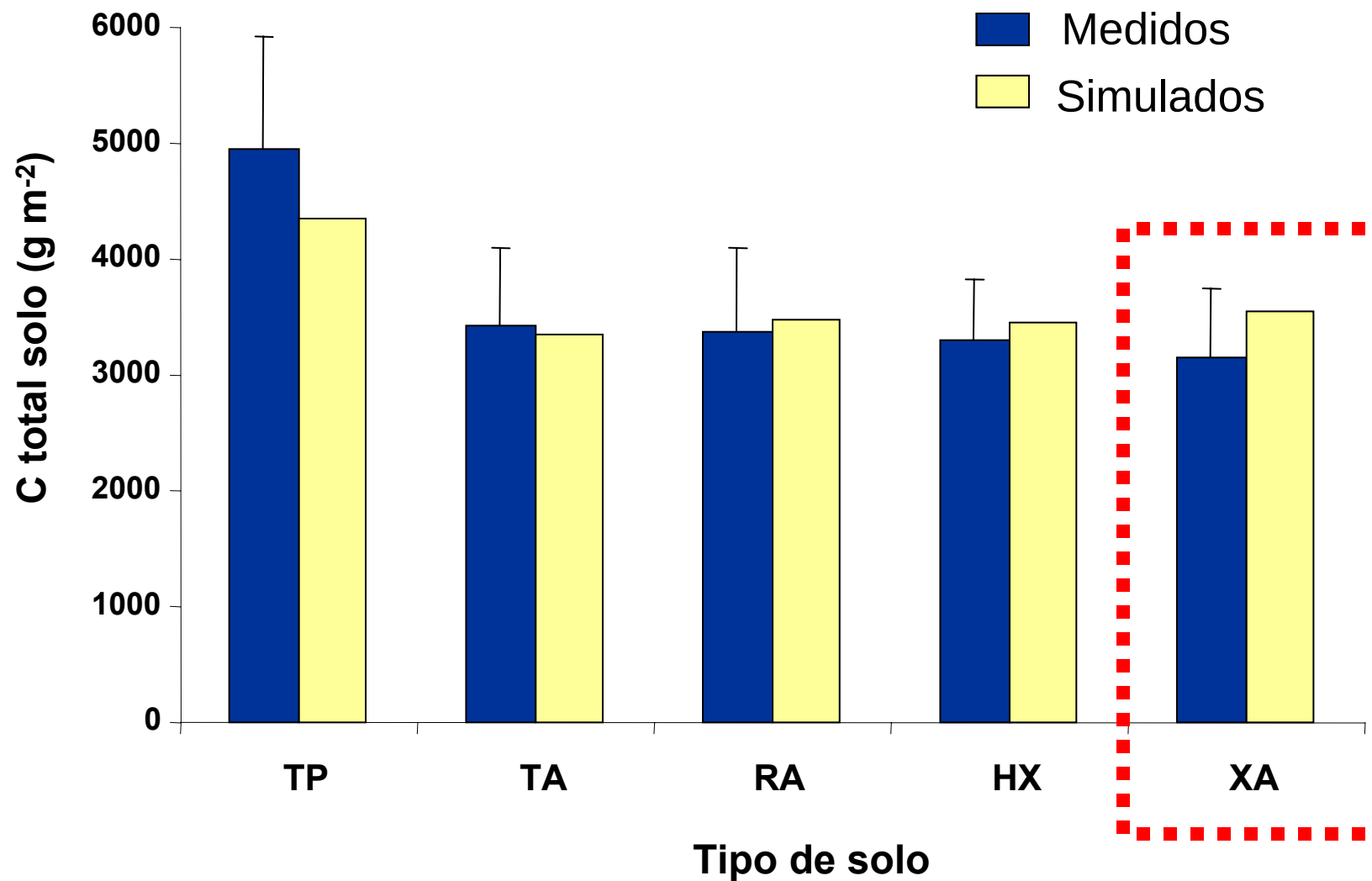


Resultados simulação para Carbono total no solo (0-20cm)

Microbial biomass C: wet and dry seasons

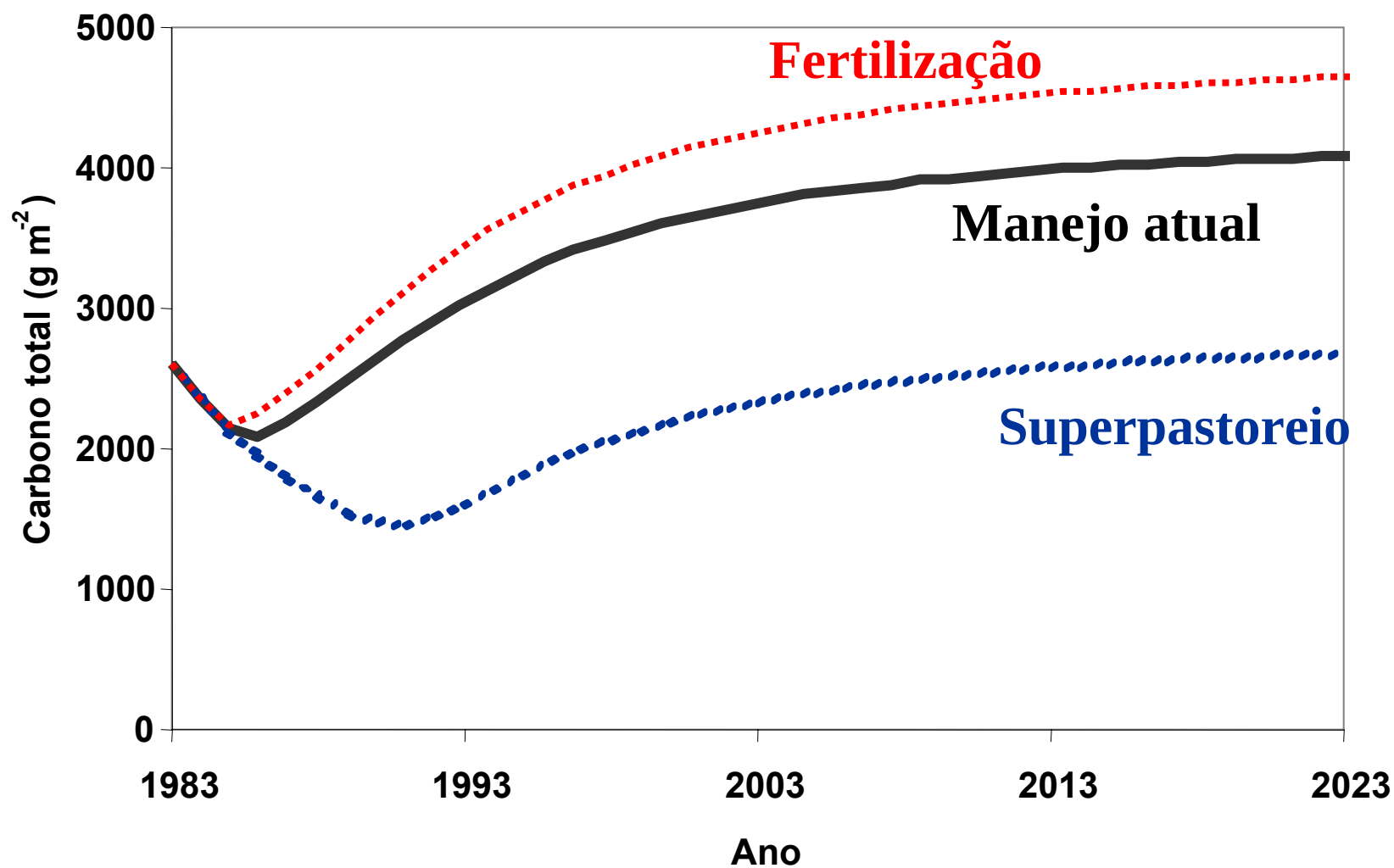
Soil type	Observed values	Simulated values	Diference	Mean difference
	-----	(g m ⁻²) -----		----- (%) -----
<u>Wet season</u>				
TP	35.4 (2.9)c	60.4	-25	-71
TA	124.2 (18.7)b	51.1	73	59
RA	215.3 (42.9)a	58.3	157	73
HX	235.0 (15.3)a	55.7	179	76
XA	64.5 (6.7)c	65.2	-1	-1
<u>Dry season</u>				
TP	17.8 (1.4)c	79.8	-62	-349
TA	12.5 (2.5)c *	73.7	-61	-488
RA	25.4 (2.3)b *	77.7	-52	-206
HX	23.7 (2.1)b *	76.5	-53	-222
XA	46.5 (4.6)a	82.2	-36	-77

Resultados simulação para C total no solo (0-20cm)



Resultados simulação para Carbono total no solo (0-20cm)

CENÁRIOS



Funcionamento modelo CENTURY

