

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)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conceitos e definições

Histórico

Compartimentos da MOS para fins de modelagem

Principais pesquisas utilizando modelagem em estudos da MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

Exemplos de aplicações dos modelos DNDC, Daycent e TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conceitos e definições

Histórico

Compartimentos da MOS para fins de modelagem

Principais pesquisas utilizando modelagem em estudos da MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

Exemplos de aplicações dos modelos DNDC, Daycent e TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

MODELO: definição

- Qualquer descrição ou abstração simplificada de um sistema ou processo (Addiscott, 1993).
- Um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada na forma de uma série de equações matemáticas (Gordon Jr. et al., 1995).
- Modelos são ferramentas que ajudam a conceituar, integrar e generalizar o conhecimento científico (Leal & De-Polli, 1999).

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

MODELO

Atributos são componentes dos modelos

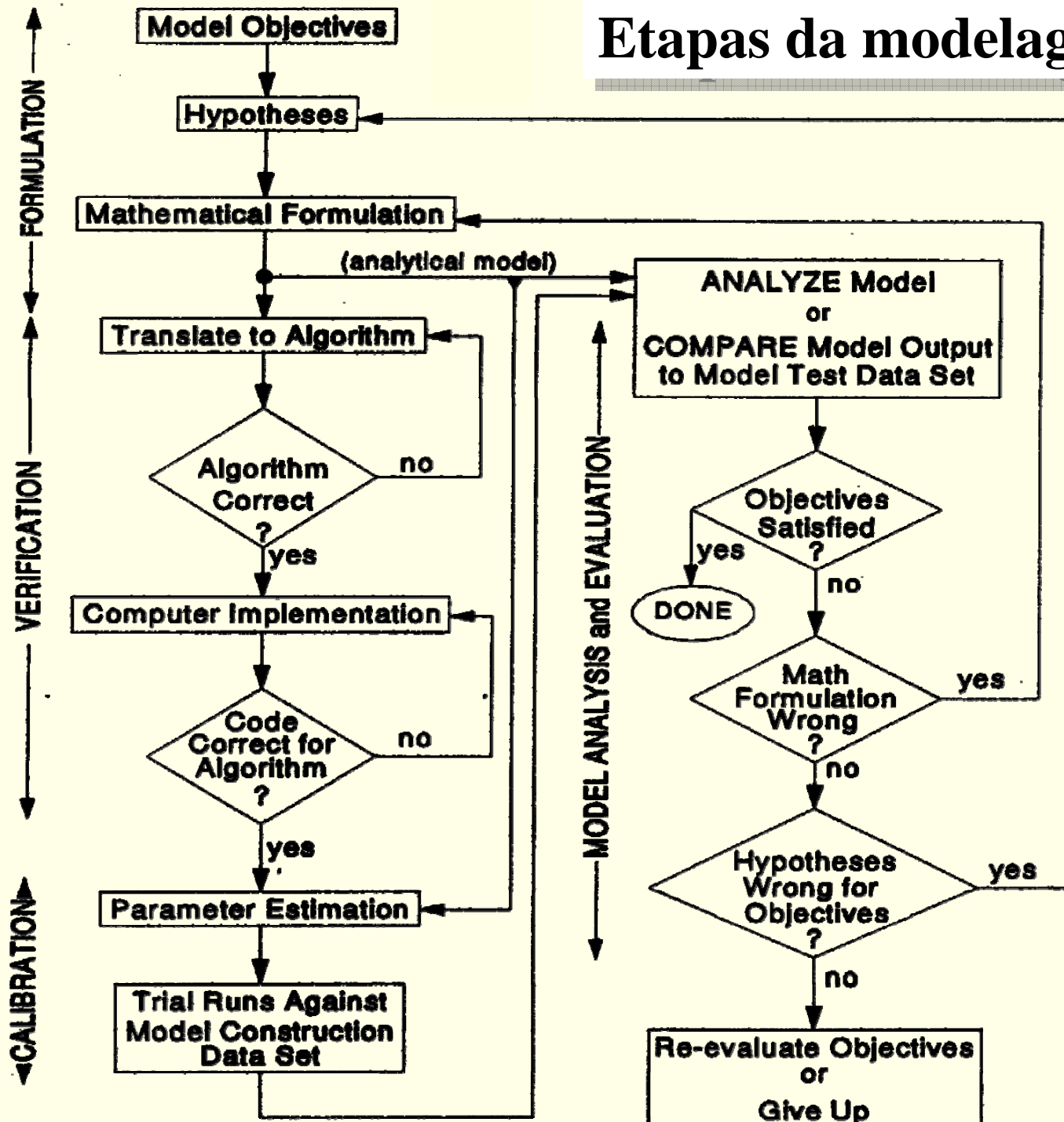
- *Parâmetros*

geralmente são valores constantes, previamente estabelecidos para o funcionamento do modelo

- *Variáveis*

necessárias para descrever as interações entre as entidades do modelo, relacionando um componente a outro.

Etapas da modelagem



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Etapas da modelagem

Validação

consiste na comparação da solução obtida via “resolução do modelo” com os dados reais, obtidos de experimentos

comparação entre os resultados simulados vs medidos

O grau de aproximação desejado é fator preponderante na decisão.

Principal obstáculo: praticidade

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

MODELO

um modelo não deve ser pressionado a fazer, nem ser criticado por não fazer, uma tarefa para a qual ele não foi projetado;

não construa um modelo sofisticado quando um mais simples é suficiente;

alguns dos benefícios primários da modelagem estão no próprio processo de desenvolvimento do modelo;

os modelos devem ser validados antes de serem implementados;

modelos não podem substituir tomadores de decisões.

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

MODELO: classificação

- Conceitual** apresenta de forma objetiva, clara e ordenada as considerações pertinentes a um problema em estudo, possibilitando uma visão holística.
- Físico** geralmente teórico, possui hipóteses claramente definidas para definição de possíveis problemas do sistema real
- Matemático**
- Diferença clara?!?*
- Simulação**

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

MODELO: classificação

- Conceitual** apresenta de forma objetiva, clara e ordenada as considerações pertinentes a um problema em estudo, possibilitando uma visão holística.
- Físico** geralmente teórico, possui hipóteses claramente definidas para definição de possíveis problemas do sistema real
- Matemático** refere-se restritamente a representações matemáticas de um fenômeno.
- Simulação** são algoritmos que englobam um ou mais modelos matemáticos, representando assim fenômenos mais complexos.

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

MODELO: classificação

Matemático refere-se restritamente a representações matemáticas de um fenômeno.

Empírico baseado em dados puramente observados

Estocástico assume que o processo é descrito pelas leis de probabilidade

Mecanístico baseado nas leis físicas, químicas e biológicas que descrevem os vários processos. São considerados os mais versáteis dentre os tipos de modelos matemáticos.

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

MODELO: classificação

Simulação são algoritmos que englobam um ou mais modelos matemáticos, representando assim fenômenos mais complexos.

Determinístico pressupõe que um certo conjunto de eventos leva a um resultado único e definido (parâmetros const.)

Estocástico pressupõe que os resultados sejam incertos, estando estruturados para funcionar com essa incerteza (ex: valores aleatórios Temp → dinâmica de insetos)

Mecanístico procura descrever o mecanismo dos processos e seus fundamentos (ex: MOS, dinâmica de população)

Funcional descreve os aspectos gerais do processo (ex: Lei de Boyle relacionando Temp, Pressão, Volume).

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conceitos e definições

Histórico

Compartimentos da MOS para fins de modelagem

Principais pesquisas utilizando modelagem em estudos da MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

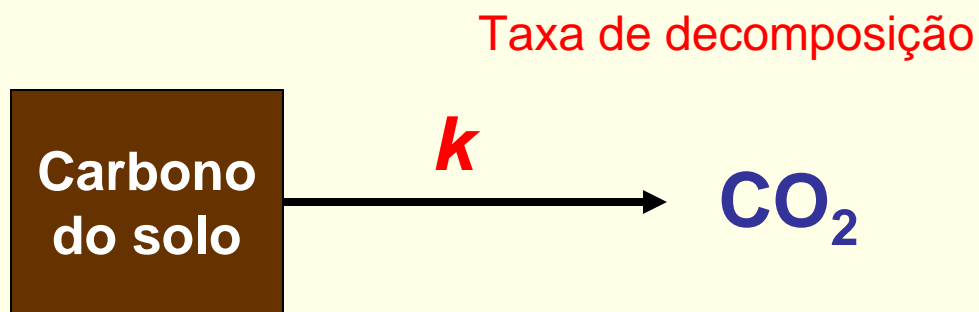
Exemplos de aplicações dos modelos DNDC, Daycent e TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

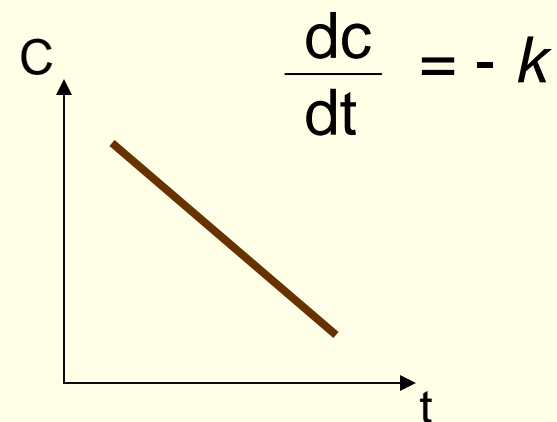
Jenny (1941) um dos primeiros modelos de simulações.

Apenas um compartimento de MOS.

Simular de maneira geral, o declínio nos estoques de C e N de solos cultivados em regiões de clima temperado.



- Taxa decomposição constante
- Apenas um compartimento (homogeneidade)

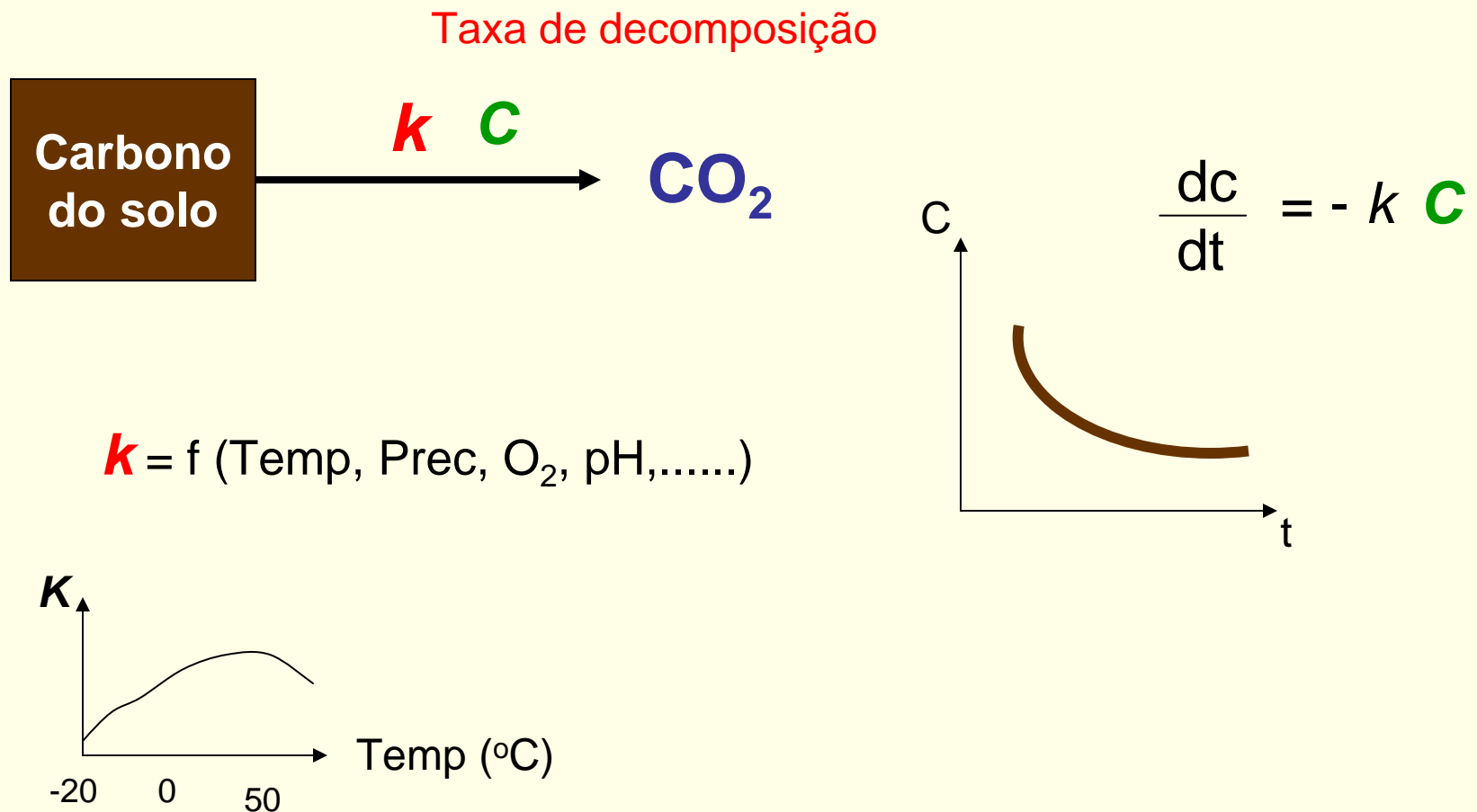


2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Jenkinson & Rayner (1977) incrementaram a proposta de Jenny. Desenvolveram a versão inicial do Rothamsted Carbon Model (RothC), com 4 compartimentos de MOS.

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

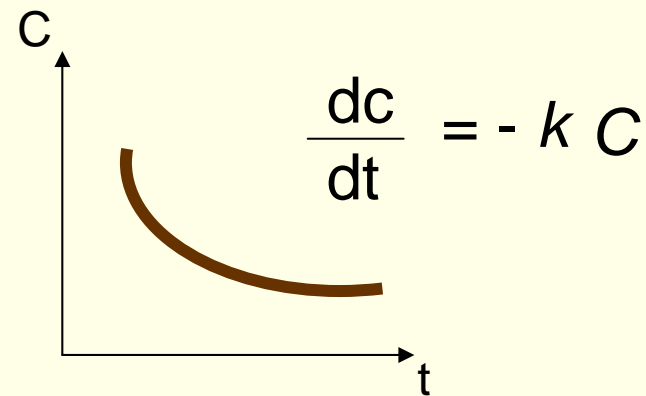
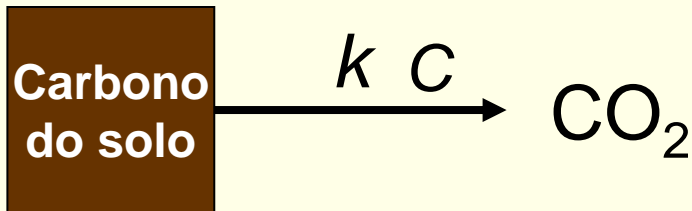
Jenkinson & Rayner (1977) incrementaram a proposta de Jenny. Desenvolveram a versão inicial do Rothamsted Carbon Model (RothC), com 4 compartimentos de MOS.



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Parton et al. (1987) desenvolveram o modelo Century

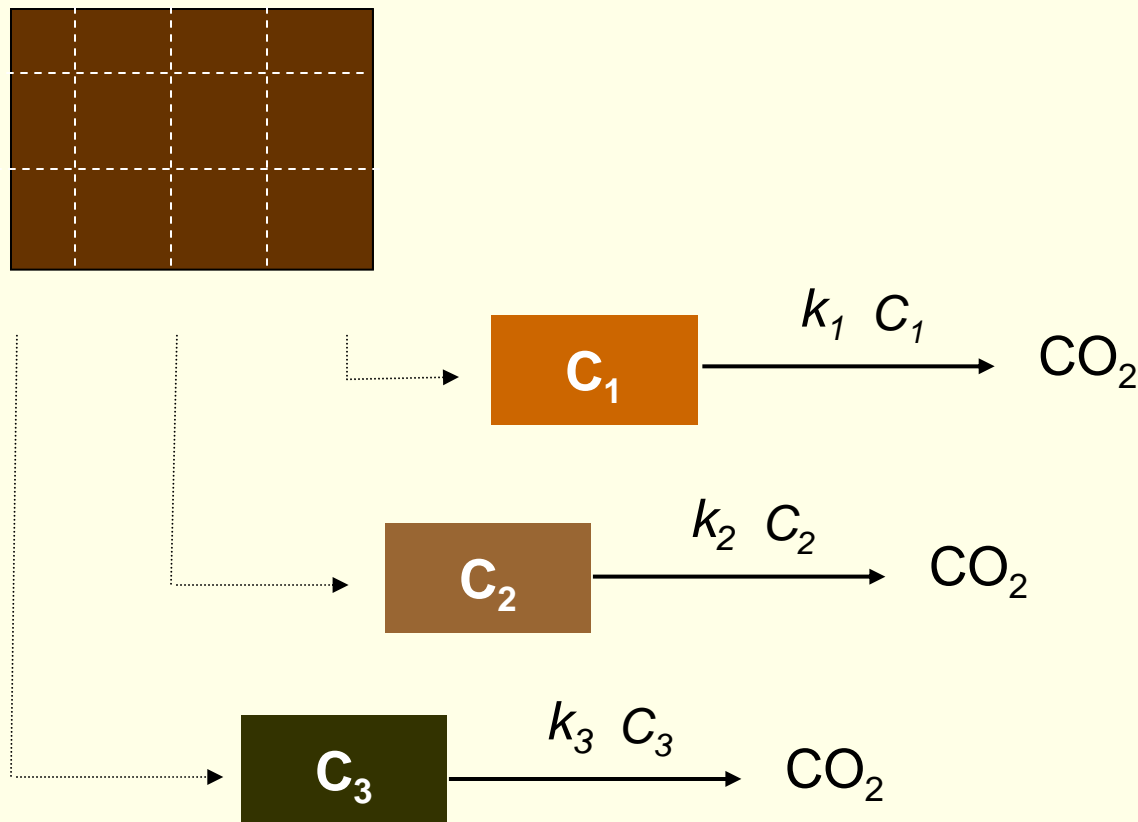
Century assume que as transformações da MOS ocorrem em uma reação do tipo cinética de primeira ordem...



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Parton et al. (1987) desenvolveram o modelo Century

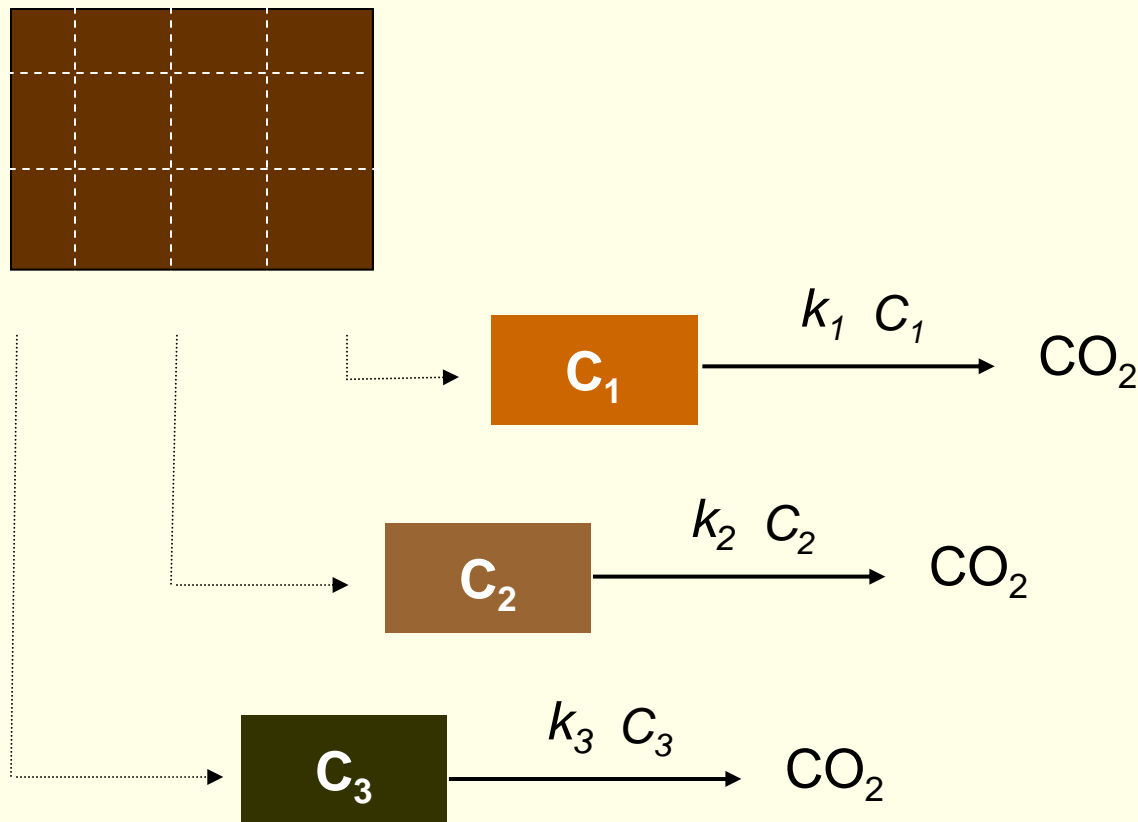
...e que o grau de complexidade é determinado pelo número de compartimentos e categorias nas quais a MOS é fracionada.



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Parton et al. (1987) desenvolveram o modelo Century

...e que o grau de complexidade é determinado pelo número de **compartimentos e categorias nas quais a MOS é fracionada.**



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Histórico

Mais detalhes sobre histórico, modelos, aplicações ...

***Revisão bibliográfica**

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conceitos e definições

Histórico

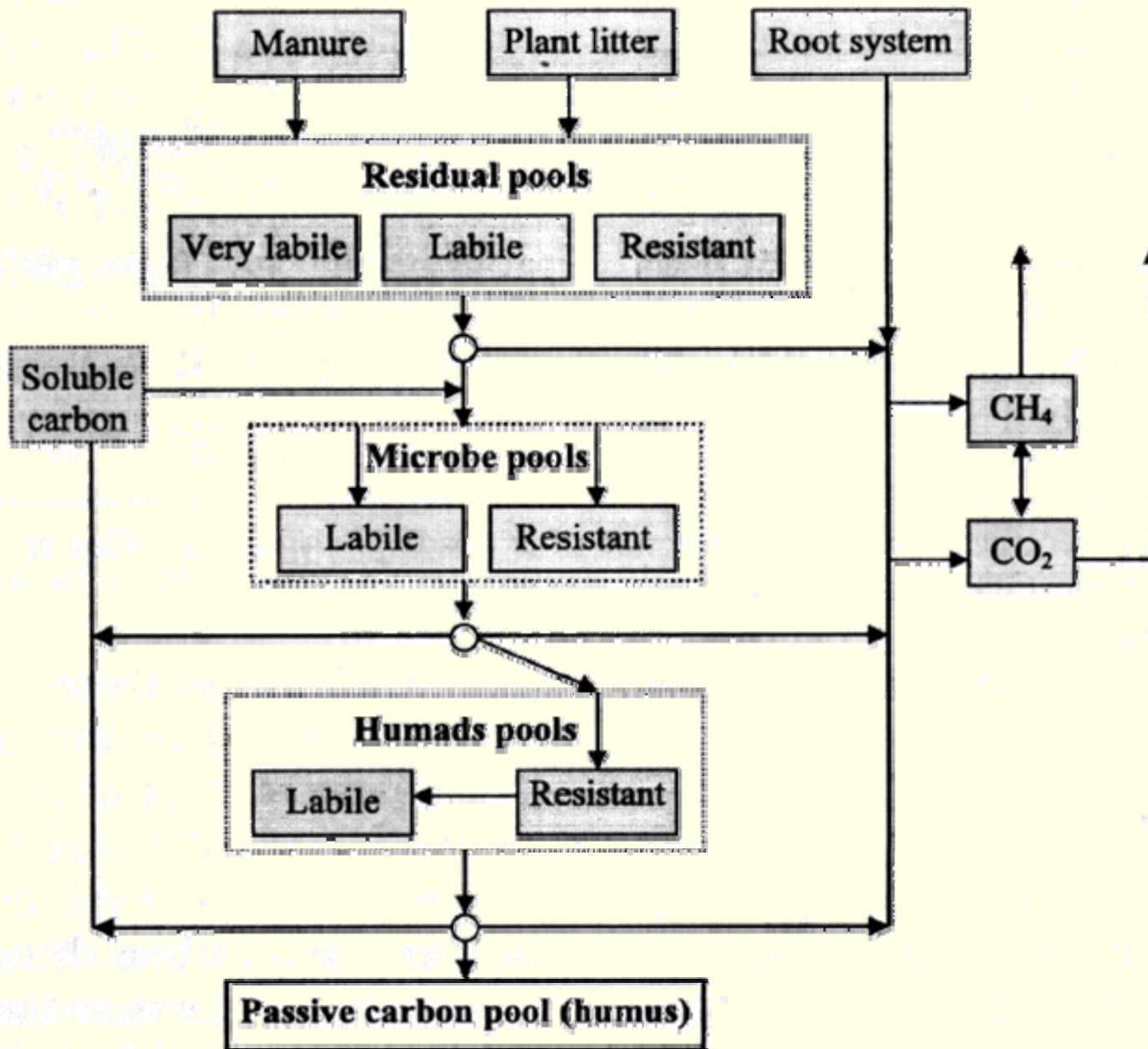
Compartimentos da MOS para fins de modelagem

Principais pesquisas utilizando modelagem em estudos da MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

Exemplos de aplicações dos modelos DNDC, Daycent e TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Compartimentos e categorias nas quais a MOS é fracionada

Soil Organic Matter Pools and Related Fractions

Organic Matter Pools, Theorized Kinetics and Function	Procedurally Defined Fractions of Organic Matter ^a
Labile or Active SOM	
<p style="text-align: center;">Half-life days to a few years</p> <p>Equated with material of recent origin or embodied living components of SOM</p> <p>Material of high nutrient or energy value</p> <p>Physical status (not physically protected) makes soil incorporated matter likely to participate in biologically or chemically based reactions</p> <p>Physical role of materials located at the soil surface and of compounds that promote macroaggregation is transient</p>	<p style="text-align: center;">Microbial biomass</p> <p>Chloroform-labile SOM (B)</p> <p>Microwave-irradiation-labile SOM (B)</p> <p>Amino compounds (B, P)</p> <p>Phospholipids (B)</p> <p style="text-align: center;">Labile substrates</p> <p>Mineralizable C or N, estimated by incubation (B)</p> <p>Substrate-induced activity (B)</p> <p>Soluble, extractable by hot water or dilute salts (C, B)</p> <p>Easily oxidized by permanganate or other oxidants (C, B)</p> <p style="text-align: center;">Residues for which chemical formula can be described, inherited from living organisms</p> <p>Litter, vegetative fragments or residues (B,P)</p> <p>Nonaggregate protected POM (B, P)</p> <p>Polysaccharides, carbohydrates (C, P)</p>

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Compartimentos e categorias nas quais a MOS é fracionada

Soil Organic Matter Pools and Related Fractions

Organic Matter Pools, Theorized Kinetics and Function	Procedurally Defined Fractions of Organic Matter ^a
Slow or Intermediate SOM	
<p data-bbox="346 813 873 862" style="text-align: center;">Half-life of a few years to decades</p> <p data-bbox="186 886 947 1003">Physical protection, physical status, or location help separate this fraction from the other two fractions</p>	<p data-bbox="1094 813 1877 862" style="text-align: center;">Partially decomposed residues and decay products</p> <p data-bbox="1073 886 1673 935">Amino compounds, glycolproteins (B, P)</p> <p data-bbox="1073 959 1556 1008">Aggregate protected POM (B, P)</p> <p data-bbox="1310 1032 1661 1081" style="text-align: center;">Some humic materials</p> <p data-bbox="1073 1105 1520 1154">Acid/base hydrolyzable (B, C)</p> <p data-bbox="1073 1179 1467 1227">Mobile humic acids (B, C)</p>

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Compartimentos e categorias nas quais a MOS é fracionada

Soil Organic Matter Pools and Related Fractions

Organic Matter Pools, Theorized Kinetics and Function	Procedurally Defined Fractions of Organic Matter ^a
Recalcitrant, Passive, Stable, and Inert SOM	
<p style="text-align: center;">Half-life of decades to centuries</p> <p>Recalcitrance because of biochemical characteristics and/or mineral association</p>	<p style="text-align: center;">Refractory compounds of known origin</p> <p>Aliphatic macromolecules (lipids, cutans, algaenans, suberans) (C) Charcoal (C) Sporopollenins (C) Lignins (C)</p> <p style="text-align: center;">Some humic substances</p> <p>High molecular weight, condensed SOM (C, P) Humin (C) Nonhydrolyzable SOM (C) Fine-silt, coarse-clay associated SOM (C, P)</p>

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conceitos e definições

Histórico

Compartimentos da MOS para fins de modelagem

Principais pesquisas utilizando modelagem em estudos da MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

Exemplos de aplicações dos modelos DNDC, Daycent e TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Decomposição da matéria orgânica

Modelos matemáticos para avaliar a velocidade de decomposição de C em função da latitude.	Schlesinger (1977)
Descrição, calibração e validação de modelo aplicado ao estudo da acumulação e decomposição de matéria orgânica jovem.	Janssen (1984)
Aplicação do modelo NCSOIL a simulação da mineralização do C e do N em solos adubados.	Houot et al. (1989)
Apresentação de alguns modelos matemáticos para avaliar as transformações de liteira de pinho vermelho.	Melillo et al. (1989)
Apresentação de modelo matemático para avaliar a acumulação e mineralização de resíduos vegetais.	Plichta & Gurtowisk (1989)
Descrição de modelos matemáticos aplicados a avaliação do efeito da umidade na taxa de decomposição do esterco.	Murwira et al. (1990)
Teste de modelos matemáticos para avaliar a interação entre N, P e S na decomposição da liteira.	Bosatta & Agren (1991a)

Leal & De-Polli (1999)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Dinâmica da matéria orgânica e do carbono

Apresentação de modelo sobre a dinâmica do carbono (C) em pastagens.	van Veen & Paul (1981)
Descrição de modelo sobre a dinâmica do C, Nitrogênio (N) orgânico e mineral.	Molina et al. (1983)
Descrição de modelo sobre o movimento do C e do N no solo.	van Veen et al. (1985)
Modelo matemático sobre a dinâmica do C e do N em substrato com lignina.	Berendse et al. (1987)
Utilização de modelo para avaliar o efeito do preparo do solo e da adubação na dinâmica da matéria orgânica (MO).	Rasmussen & Collins (1991)
Utilização de modelos na discussão sobre mitos relacionados ao estudo da MO nos trópicos.	Greenland et al. (1992)
Descrição detalhada de um modelo aplicado ao estudo das transformações do C e do N no solo.	Grant et al. (1993)
Utilização de modelo para avaliar o comportamento de formas do C no solo após a adição de resíduos orgânicos.	Sallih & Pansu (1993)

Leal & De-Polli (1999)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Mineralização do nitrogênio

Apresentação de modelo sobre a determinação do nitrogênio potencialmente mineralizável.	Stanford & Smith (1972)
Utilização de modelos para estimar "pools" do N orgânico.	Molina et al. (1980)
Comparação de modelos para estimar a mineralização do N.	Broadbent (1986)
Estimativa do N potencialmente mineralizável através da comparação entre dois modelos matemáticos.	Deans et al. (1986)
Avaliação da mineralização do N e S através da comparação entre diversos modelos matemáticos.	Ellert & Bettany (1988)
Estudo da mineralização do N associada a relação C/N e ao teor de lignina.	Virgil & Kissel (1991)
Teste de modelos matemáticos para avaliar a relação entre a mineralização do N e os ciclos de umedecimento e secagem do solo.	Cabrera (1993)
Discussão comparativa entre modelos matemáticos empíricos e de simulação para estimar a mineralização de nitrogênio.	Camargo (1996)

Leal & De-Polli (1999)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

----- Dinâmica do nitrogênio -----

Revisão sobre modelos relacionados a dinâmica do N no solo.	Frissel & van Veen (1982)
Aplicação de modelo para avaliar o manejo de resíduos, preparo do solo e dinâmica do N sobre a cultura do milho.	Clay et al. (1985)
Descrição de modelo aplicado ao estudo da mineralização, imobilização e nitrificação de ^{15}N .	Barracclough & Smith (1987)
Descrição de vários modelos sobre aspectos da dinâmica de N e da matéria orgânica no solo.	Bosatta & Agren (1991b)
Utilização do modelo NCSoil para a estimativa de fatores que afetam a imobilização de N no solo.	Hadas et al. (1992)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

----- **Biomassa microbiana** -----

- Descrição de modelo aplicado ao estudo do fluxo de C e N através da biomassa microbiana do solo. van Veen et al. (1984)
- Exemplo de modelos para avaliar o efeito de predadores da microbiota sobre o ciclo do N. Ingham et al. (1986)
- Apresentação de modelo para avaliar o efeito da desnitrificação no crescimento microbiano. Leffelaar & Wessel (1988)
- Apresentação de modelo matemático para estudar a biomassa microbiana no ciclo do N. Jenkinson & Parry (1989)

----- **Dinâmica de fósforo e de enxofre** -----

- Descrição de modelo para aplicação ao estudo da dinâmica do fósforo no solo e na planta. Jones et al. (1984)
- Aplicação de modelo para avaliar o efeito da declividade na dinâmica do fósforo e do enxofre. Saggar et al. (1990)
- Apresentação de modelo matemático para estimar a adubação com enxofre (S) e o comportamento do S orgânico. Castellano & Dick (1991)
- Leal & De-Polli (1999)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

----- Outros exemplos -----

Descrição de modelos para estimar a partição do C entre raiz e parte aérea.	Johnson & Thornley (1987)
Exemplo de utilização de modelo matemático para determinar o balanço de energia em um ecossistema.	Ulanowicz (1991)
Exemplos de utilização de modelos para avaliar o efeito de excreções animais sobre os ciclos do C, N, P e S.	Haynes & Williams (1993)
Utilização do modelo NCSOIL para avaliar experimentos de incubação de longa duração.	Nicolardot et al. (1994)
Exemplos de utilização de modelos para estudar a resposta de planta e da biomassa microbiana a mudanças de clima e solo.	Wullschleger et al. (1994)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conceitos e definições

Histórico

Compartimentos da MOS para fins de modelagem

Principais pesquisas utilizando modelagem em estudos da MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

Exemplos de aplicações dos modelos DNDC, Daycent e TEM

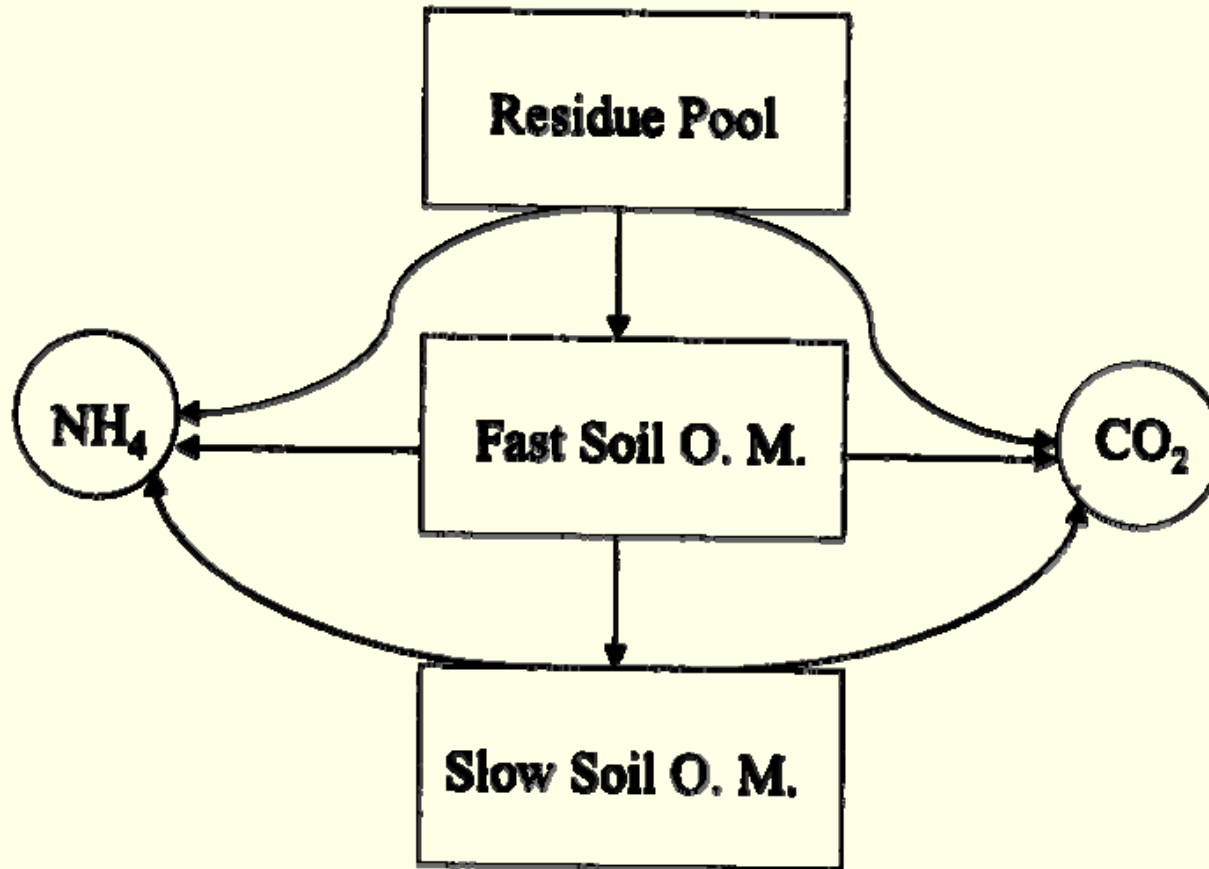
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

De modo geral, os modelos são ilustrados por um diagrama, apresentando um ou mais compartimentos da MOS com as respectivas taxas de adição e retiradas do sistema

Modelos diferenciam-se em graus de complexidade, sendo que alguns contém simples discussão do processo, outros incluem transformações que ocorrem com o solo, além daqueles que incluem interações com outros componentes do ecossistema

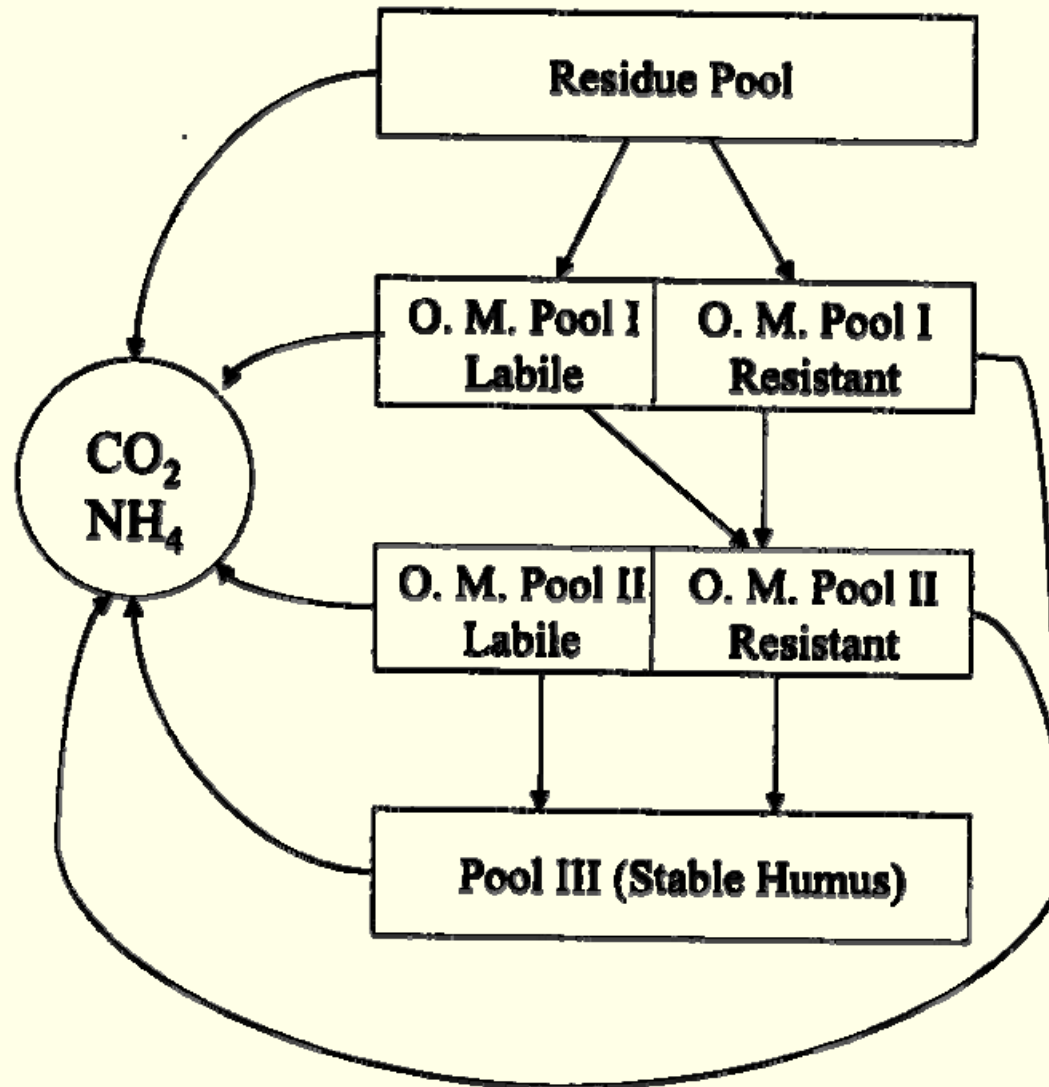
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



EPIC

**Erosion Productivity-Impact Calculator
Environmental Policy Integrated Climate**

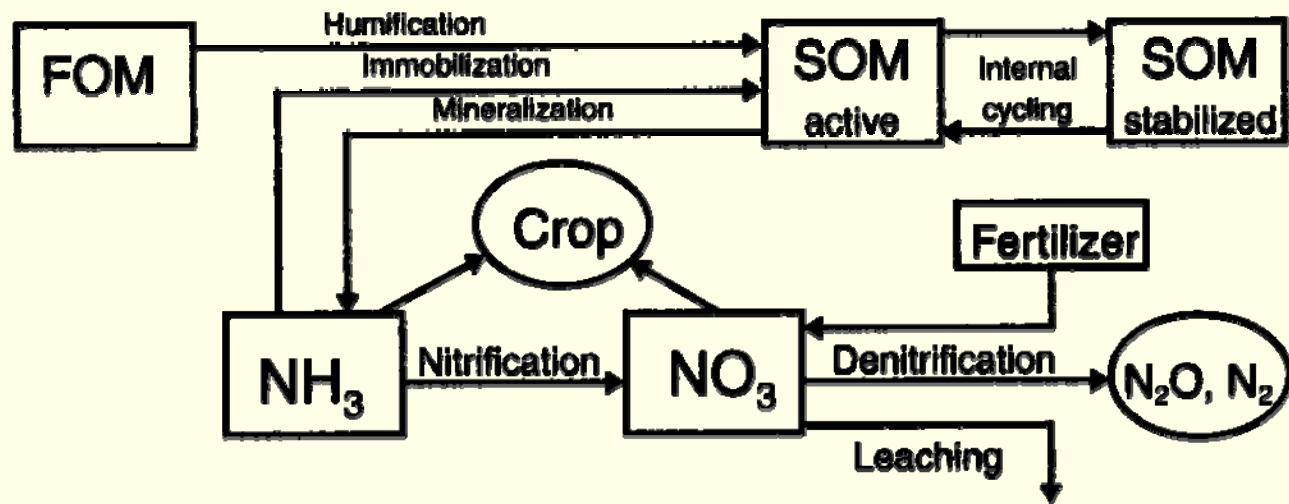
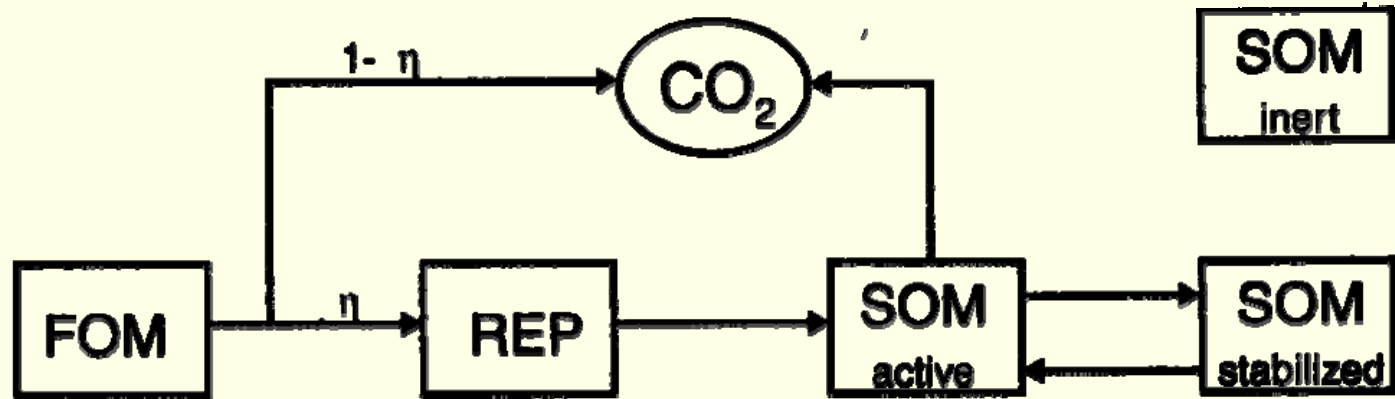
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



Nitrogen and Carbon Model

NCSOIL

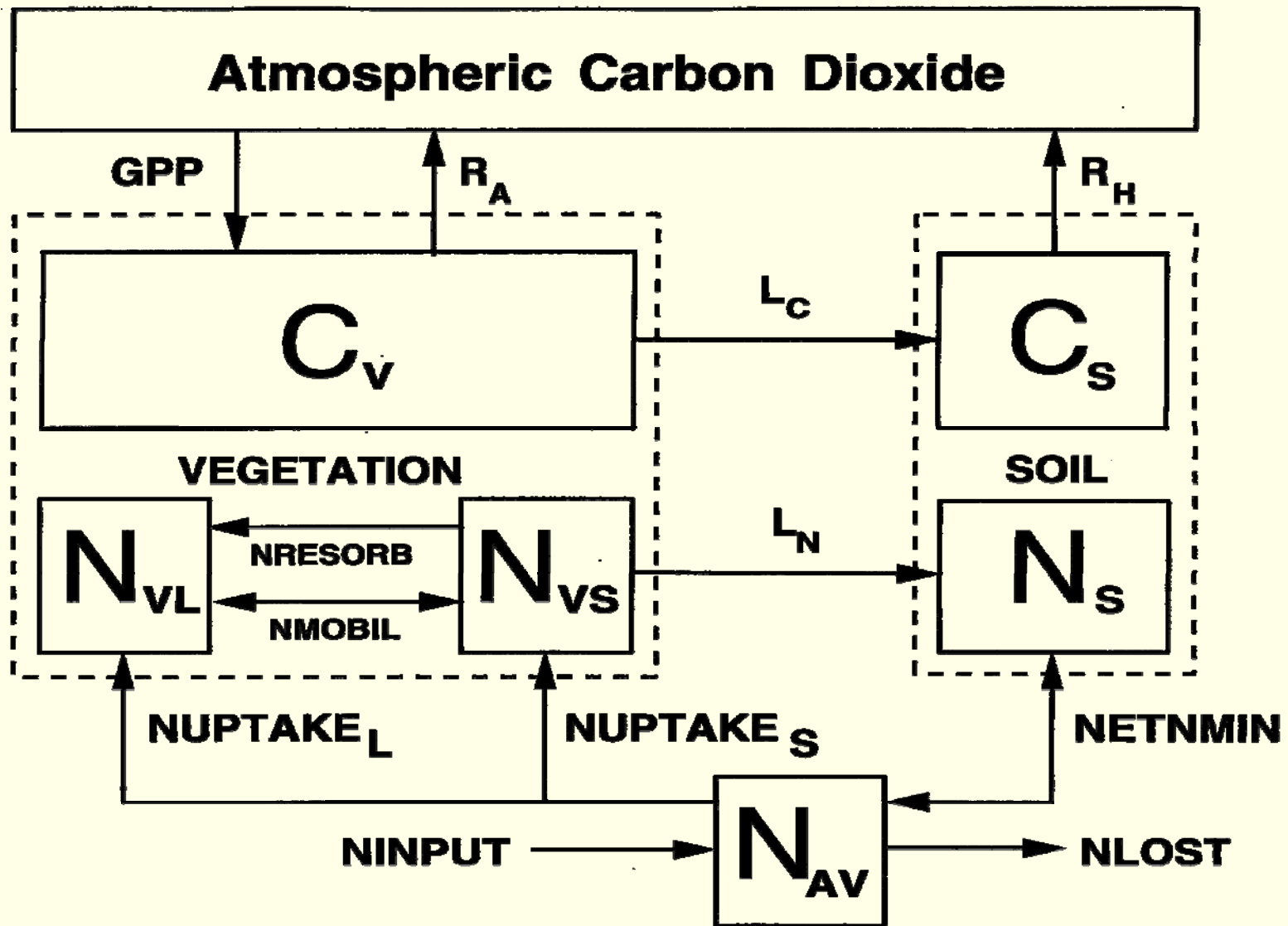
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



CANDY

Carbon and Nitrogen Dynamics in soils

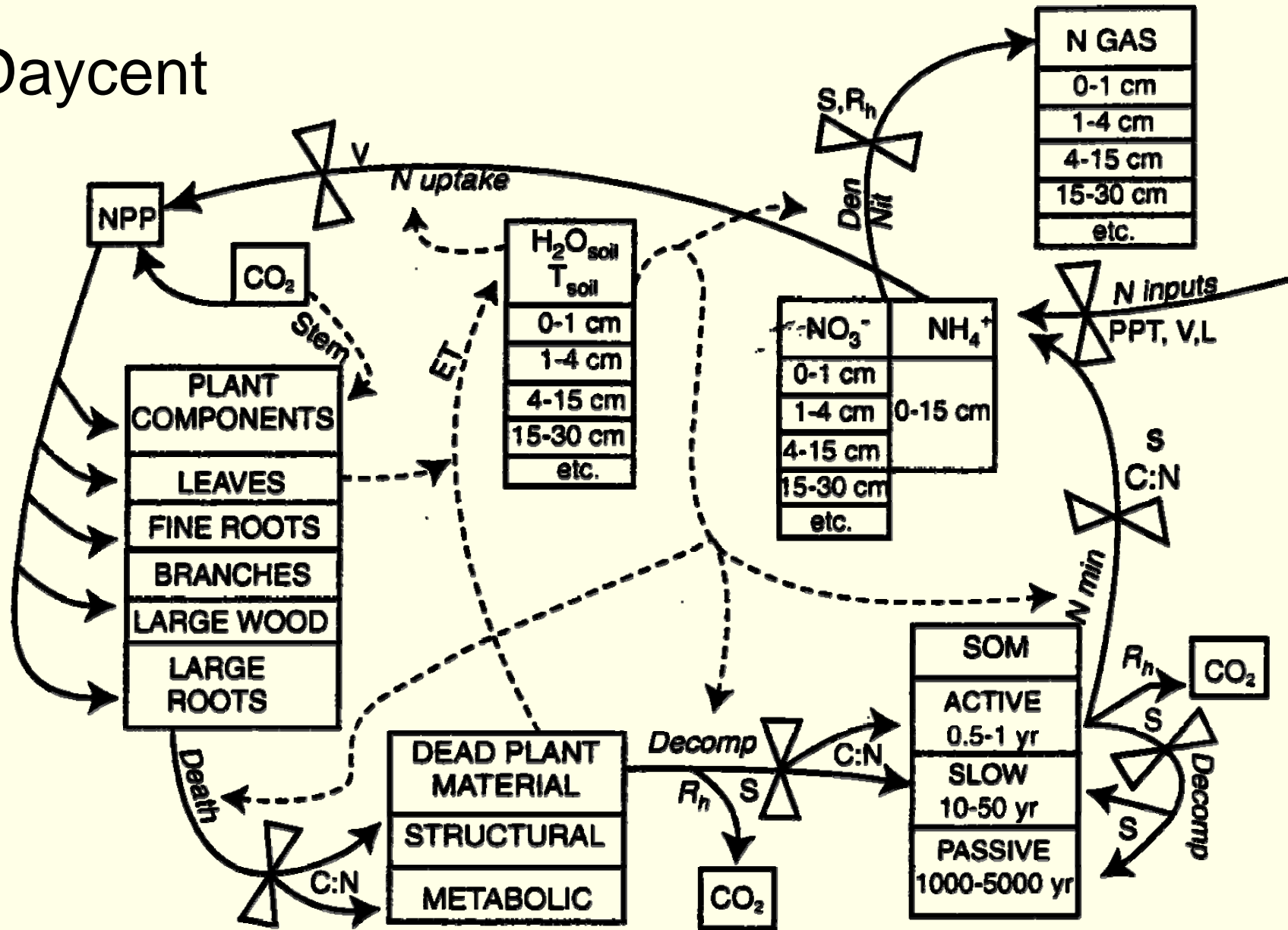
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



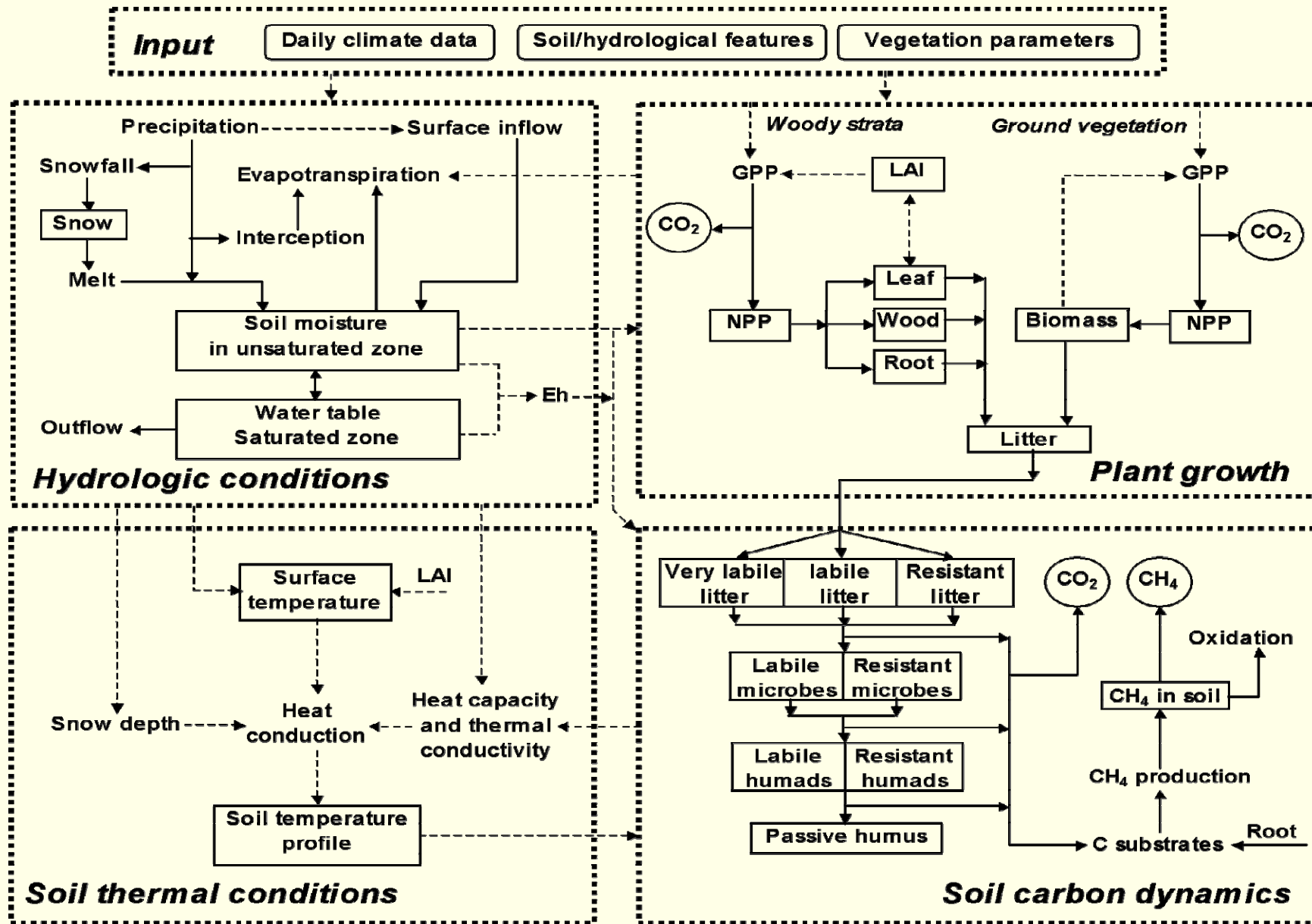
Terrestrial Ecosystem Model – TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Daycent



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



Denitrification-Decomposition model **DNDC**

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

INPUT DATA	MODEL				
	DNDC	DAYCENT	TEM/NEM	CENTURY	ROTHC
<i>Weather *</i>					
Rainfall	X	X	X	X	X
Air temperature	X	X	X	X	X
Evaporation over water			X		X
<i>Soil</i>					
Sampled layers	X	X	X	X	X
Clay content	X	X	X	X	X
Organic Matter Content	X	X	X	X	
pH	X	X		X	
Bulk density	X	X	X	X	X
Carbon content	X	X	X	X	X
Nitrogen content		X	X	X	
Water holding capacity		X		X	

* Weather data: *daily* for DNDC, TEM/NEM and DAYCENT
monthly for CENTURY and ROTHC

*** SOMNET**

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

INPUT DATA	MODEL				
	DNDC	DAYCENT	TEM/NEM	CENTURY	ROTHC
<i>Land-use and management</i>					
Crop rotation - timing	X	X	X	X	X
Crop rotation - amount		X		X	
Crop rotation - type	X	X	X	X	X
Tillage - timing	X	X	X	X	
Tillage - amount		X		X	
Tillage - type	X	X	X	X	
Inorganic fertilizer - timing	X	X	X	X	
Inorganic fertilizer - amount	X	X	X	X	
Inorganic fertilizer - type	X	X		X	
Organic manure - timing	X	X	X	X	X
Organic manure - amount	X	X	X	X	X
Organic manure - type		X		X	X
Residue incorporation - timing	X	X		X	X
Residue incorporation - amount	X	X		X	X
Residue incorporation - type		X		X	X
Irrigation - timing	X	X		X	
Irrigation - amount	X	X		X	
Irrigation - type		X		X	
Atmospheric nitrogen desposition rate	X	X	X	X	

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

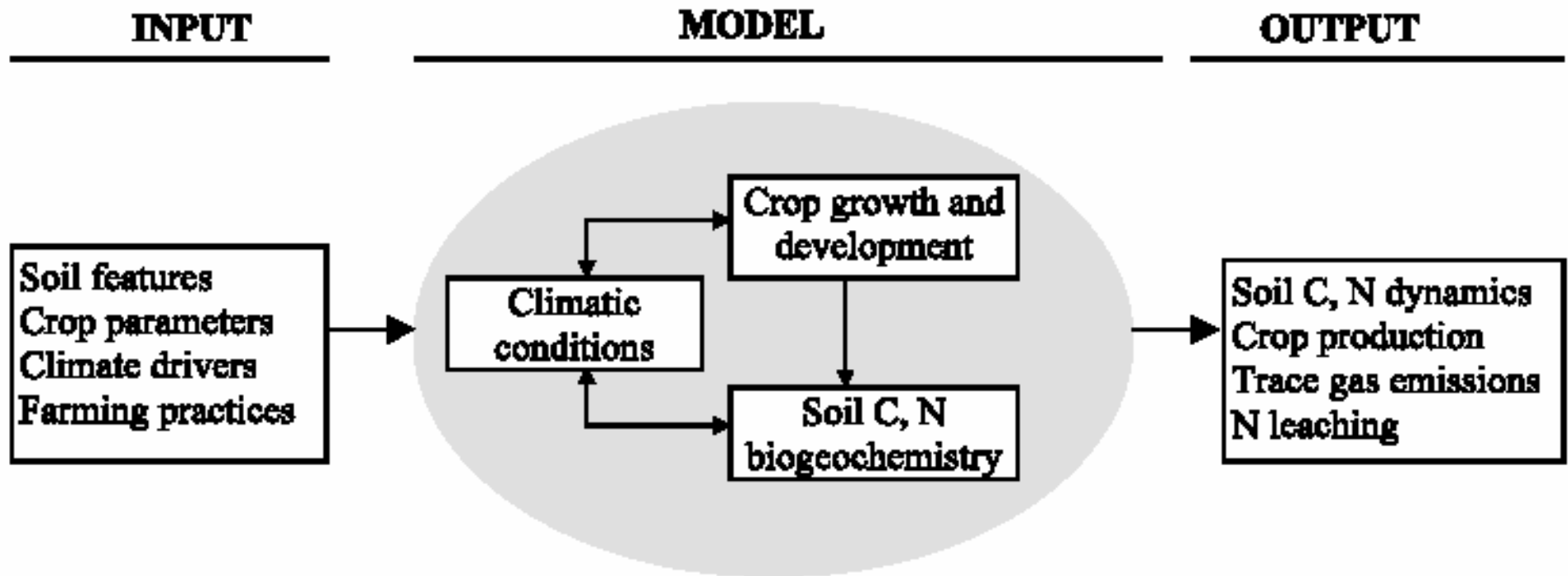
OUTPUT	MODEL				
	DNDC	DAYCENT	TEM/NEM	CENTURY	ROTHC
<i>Soil</i>					
Total carbon	X	X	X	X	X
Biomass carbon	X	X		X	X
Total nitrogen	X	X	X	X	
Biomass nitrogen				X	
Total mineral nitrogen	X	X	X	X	
Ammonium	X		X		
Nitrate leaching	X	X	X	X	
Denitrification	X	X	X	X	
Nitrification	X	X	X	X	
Total carbon 13				X	
Biomass Carbon 13				X	
Total carbon 14				X	X
Biomass carbon 14				X	
Total nitrogen 15				X	
Soil water dynamics	X	X	X	X	
Soil temperature dynamics	X	X	X	X	

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

OUTPUT	MODEL				
	DNDC	DAYCENT	TEM/NEM	CENTURY	ROTHC
<i>Gas Flux</i>					
CO ₂	x	x		x	x
CH ₄	x	x			
N ₂ O	x	x			
N ₂	x	x			
NO _x	x	x			
<i>Plant</i>					
Commercial crop yield	x	x		x	
C removed in agricultural products	x		x	x	
N removed in agricultural products	x		x	x	
Total dry matter production	x	x	x	x	x
N uptake by plants	x		x	x	
C input to soil in plant debris	x			x	
N input to soil in plant debris	x			x	
<i>Animal</i>					
C removed in animal products				x	
N removed in animal products				x	
N uptake by animals				x	
C input to soil as animal products				x	
N input to soil as animal products				x	
Gaseous losses from animals				x	

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Os modelos aplicados a pesquisas sobre MOS seguem a estrutura geral



***Base de dados globais**

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conceitos e definições

Histórico

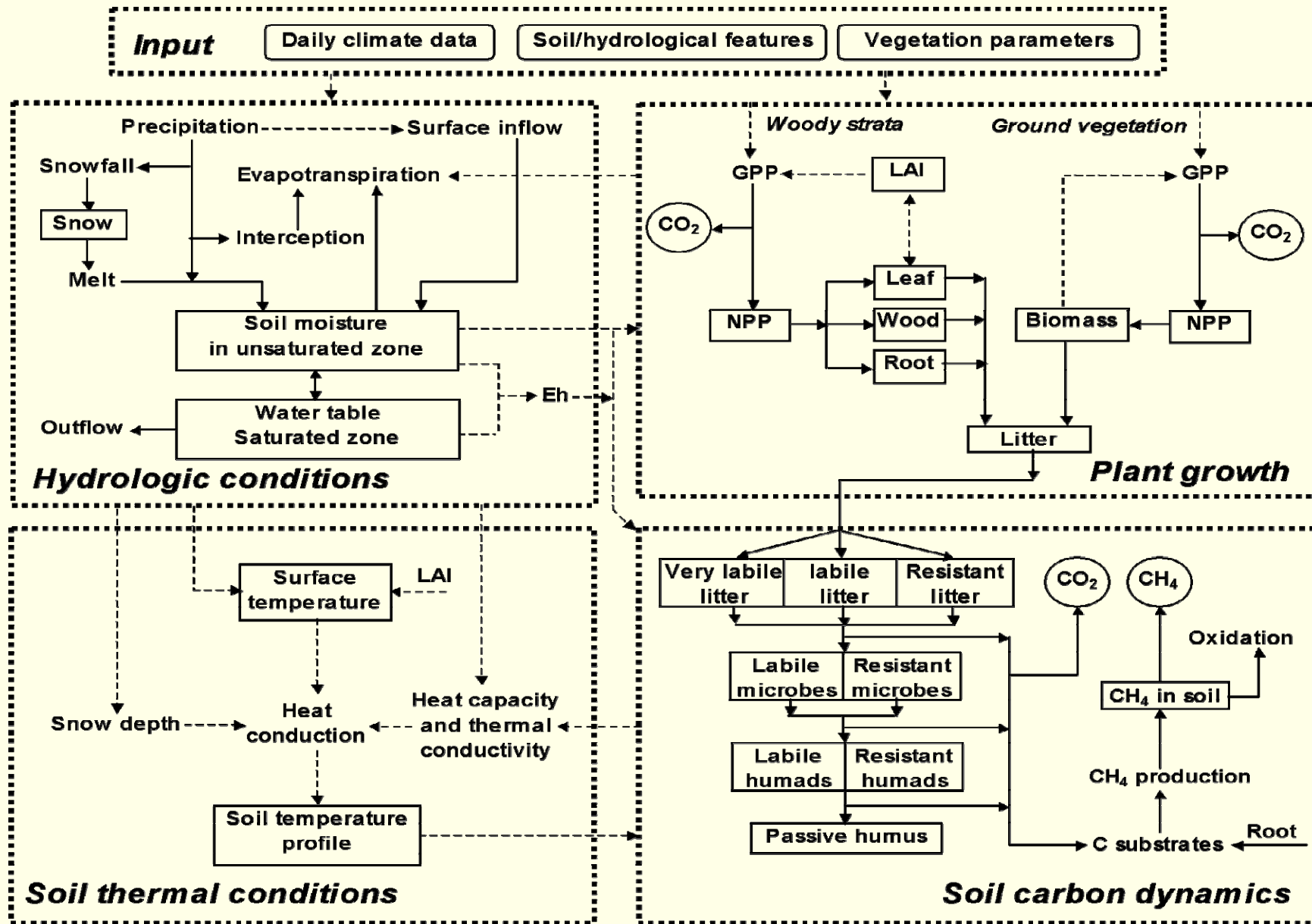
Compartimentos da MOS para fins de modelagem

Principais pesquisas utilizando modelagem em estudos da MOS

Principais modelos utilizados em estudos da MOS

Exemplos de aplicações dos modelos DNDC, Daycent e TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



Denitrification-Decomposition model **DNDC**

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Modelo DNDC: dados de entrada

- Precipitação, temperatura (dados diários)
- Conteúdo argila no solo
- C, N, pH
- 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
- Irrigação

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Modelo DNDC: 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
- Fluxo de gases: N_2O , N_2 , NO , NH_3 , CH_4 , CO_2

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

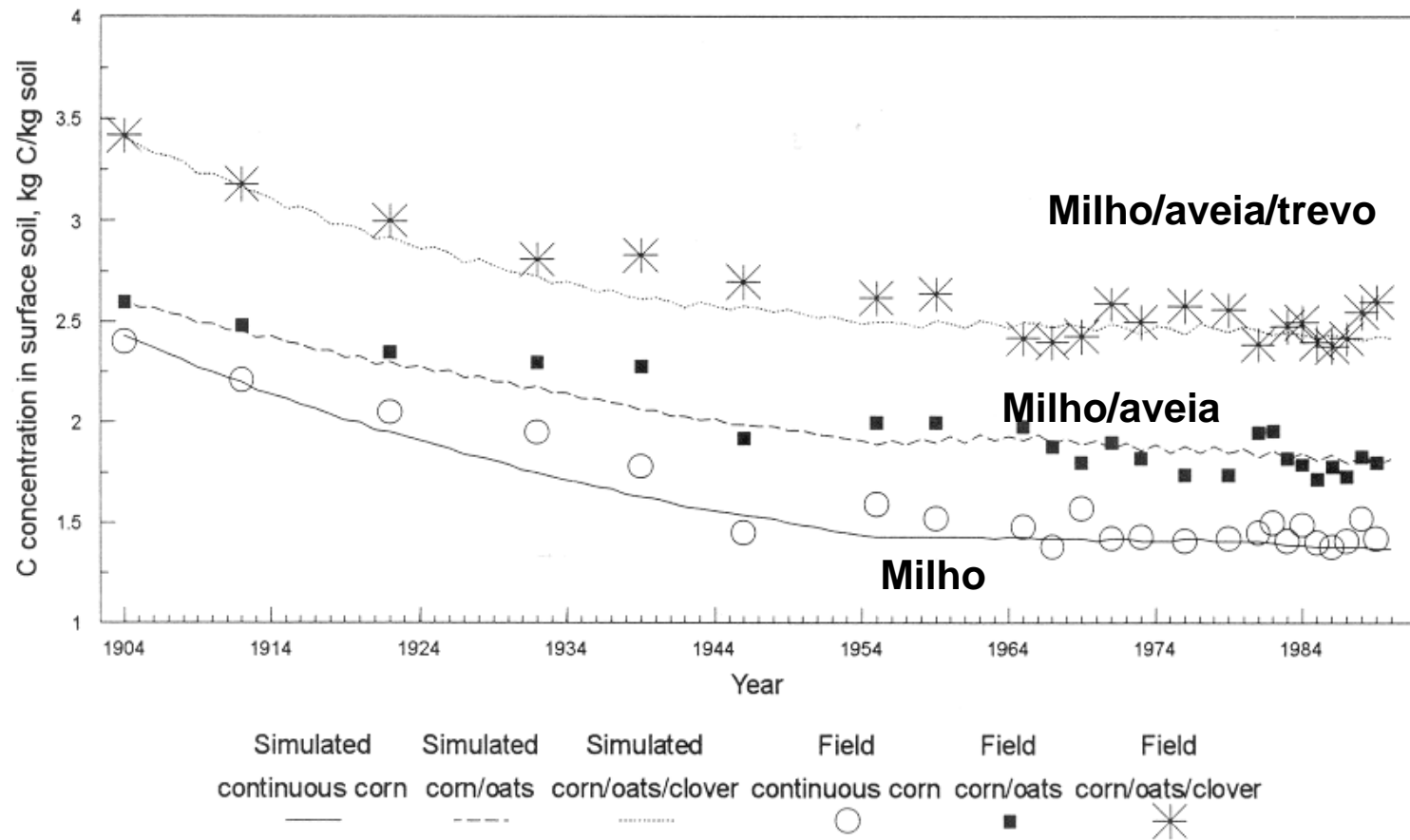
Modelo DNDC: dados de saída

- 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
- Fluxo de gases: N_2O , N_2 , NO , NH_3 , CH_4 , CO_2

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Conteúdo de C no solo (0-15cm), Illinois, USA

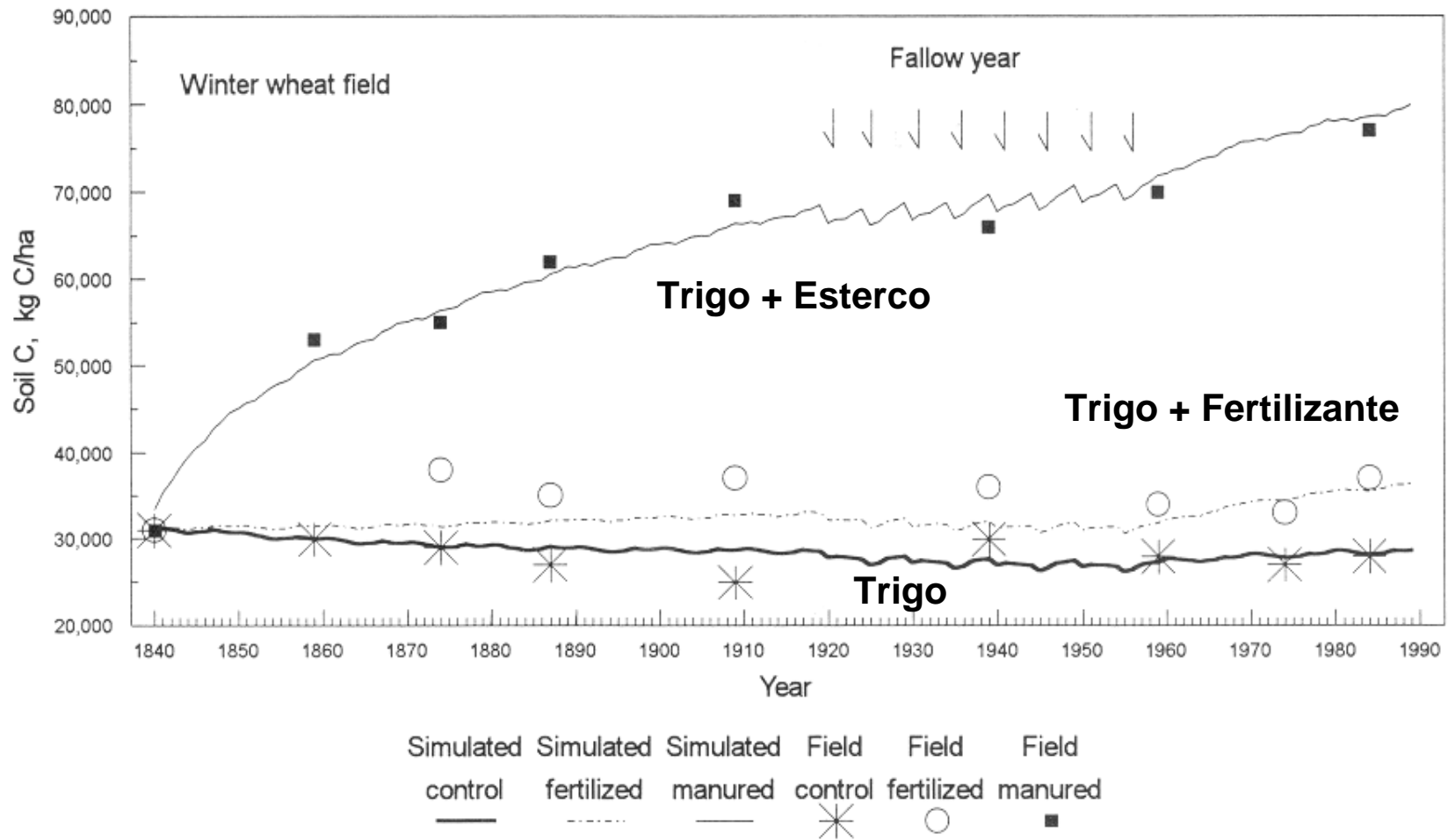
Diferentes culturas e rotação



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

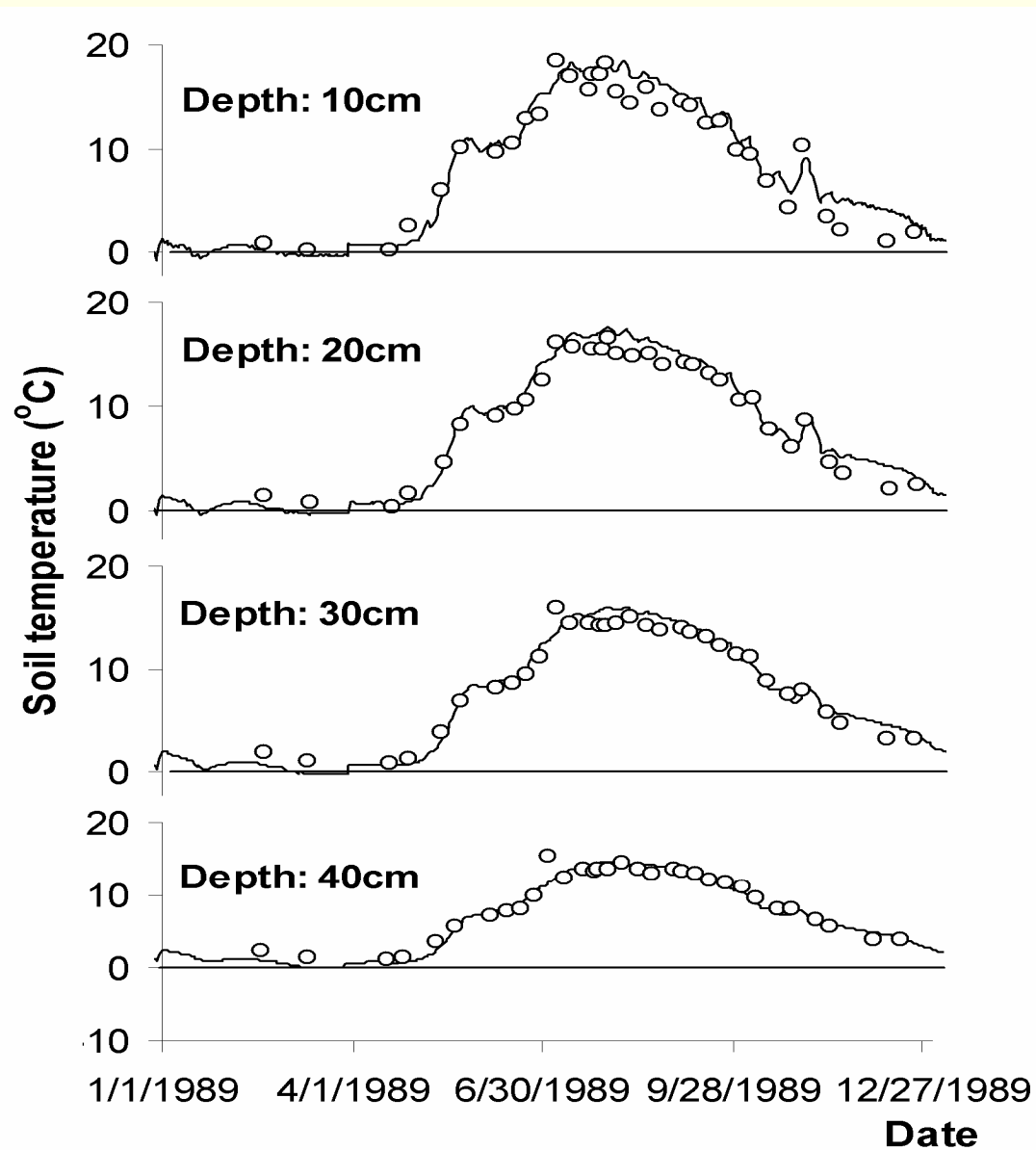
Estoque de C no solo (0-30cm), Inglaterra

Diferentes práticas de manejo



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

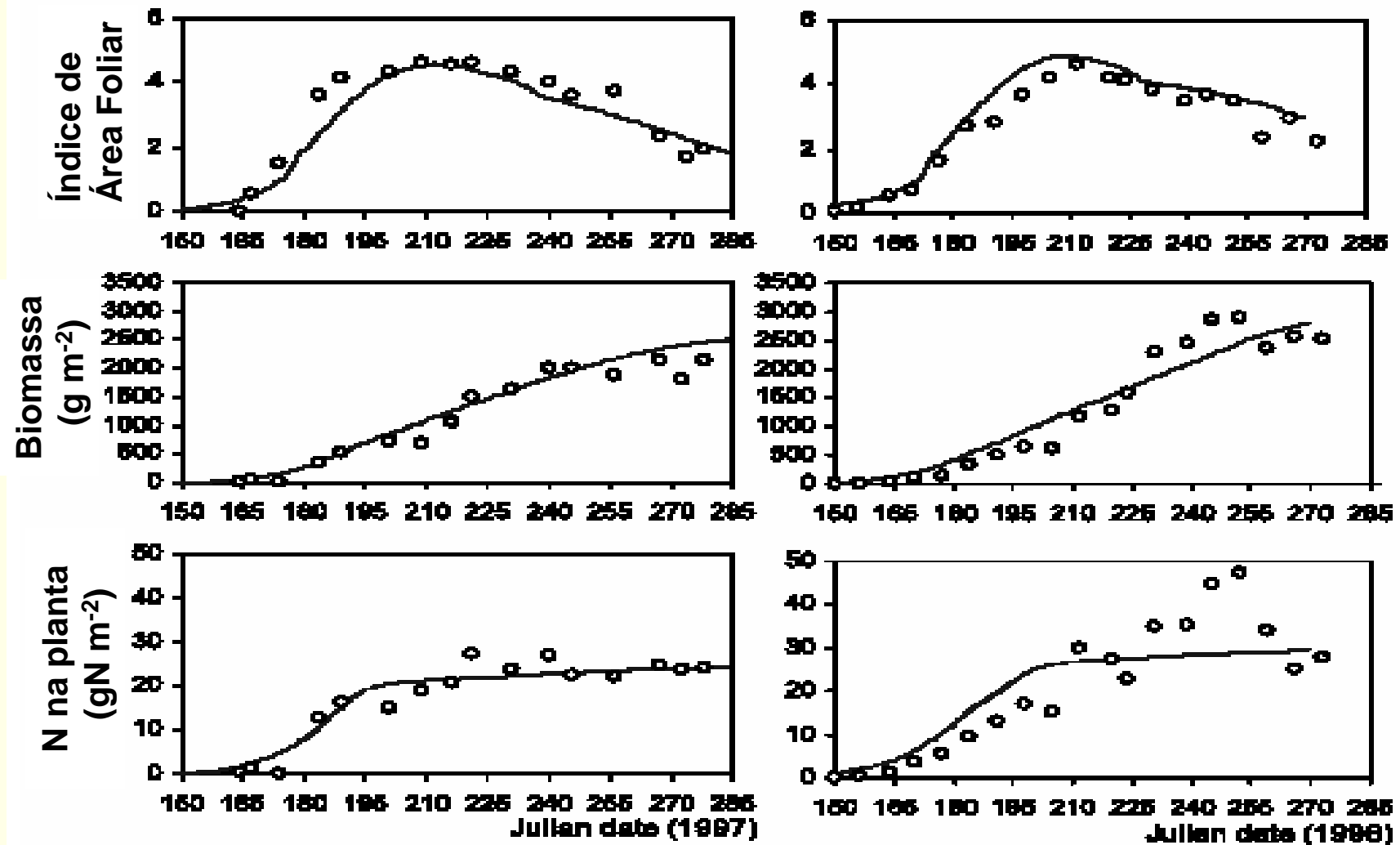
Temperatura do solo sob floresta (USA, Dinamarca, Áustria e Alemanha)



Stange et al. (2000)

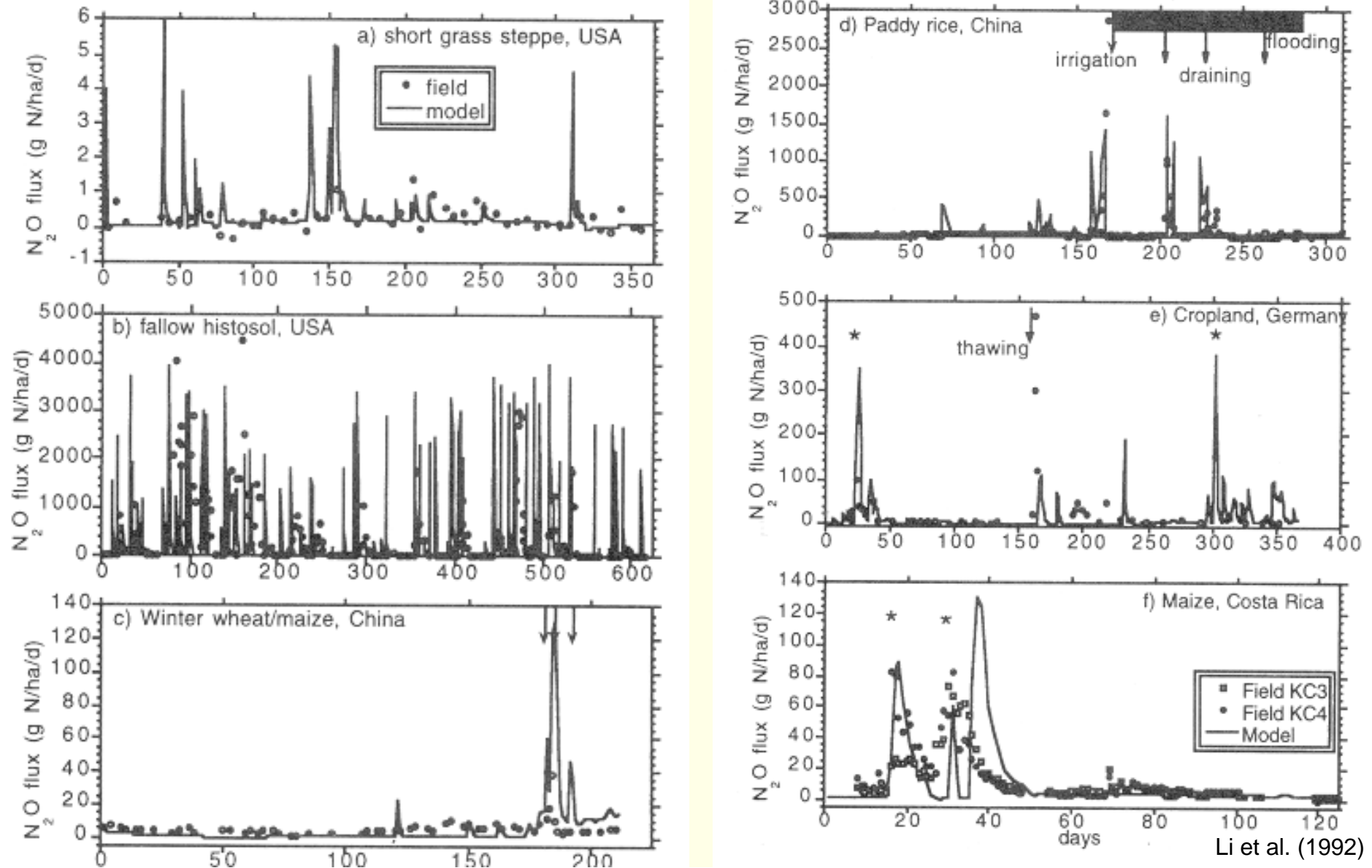
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Experimento com Milho em Iowa, USA



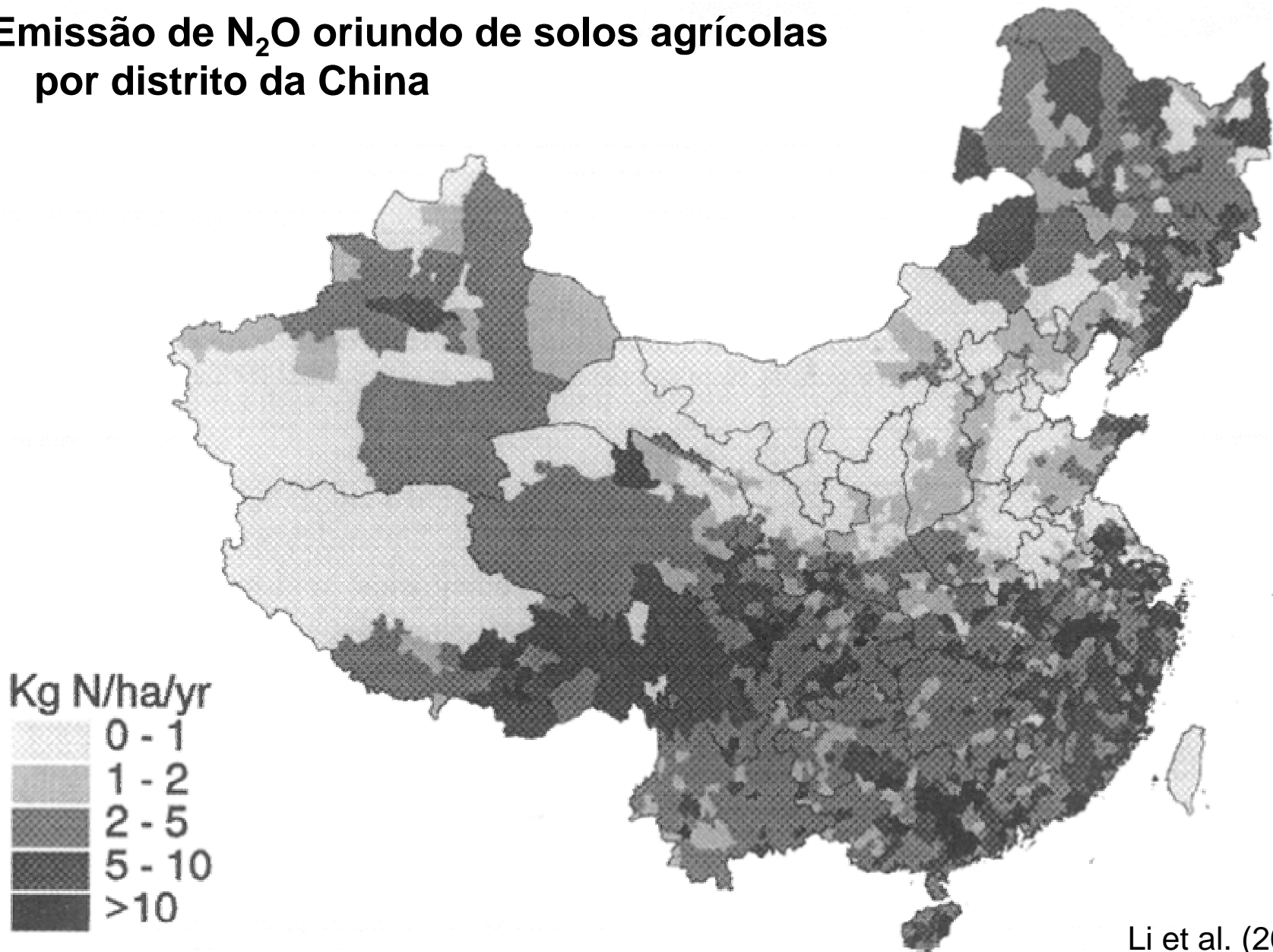
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Emissão de N_2O oriundo do solo em diferentes regiões climáticas



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

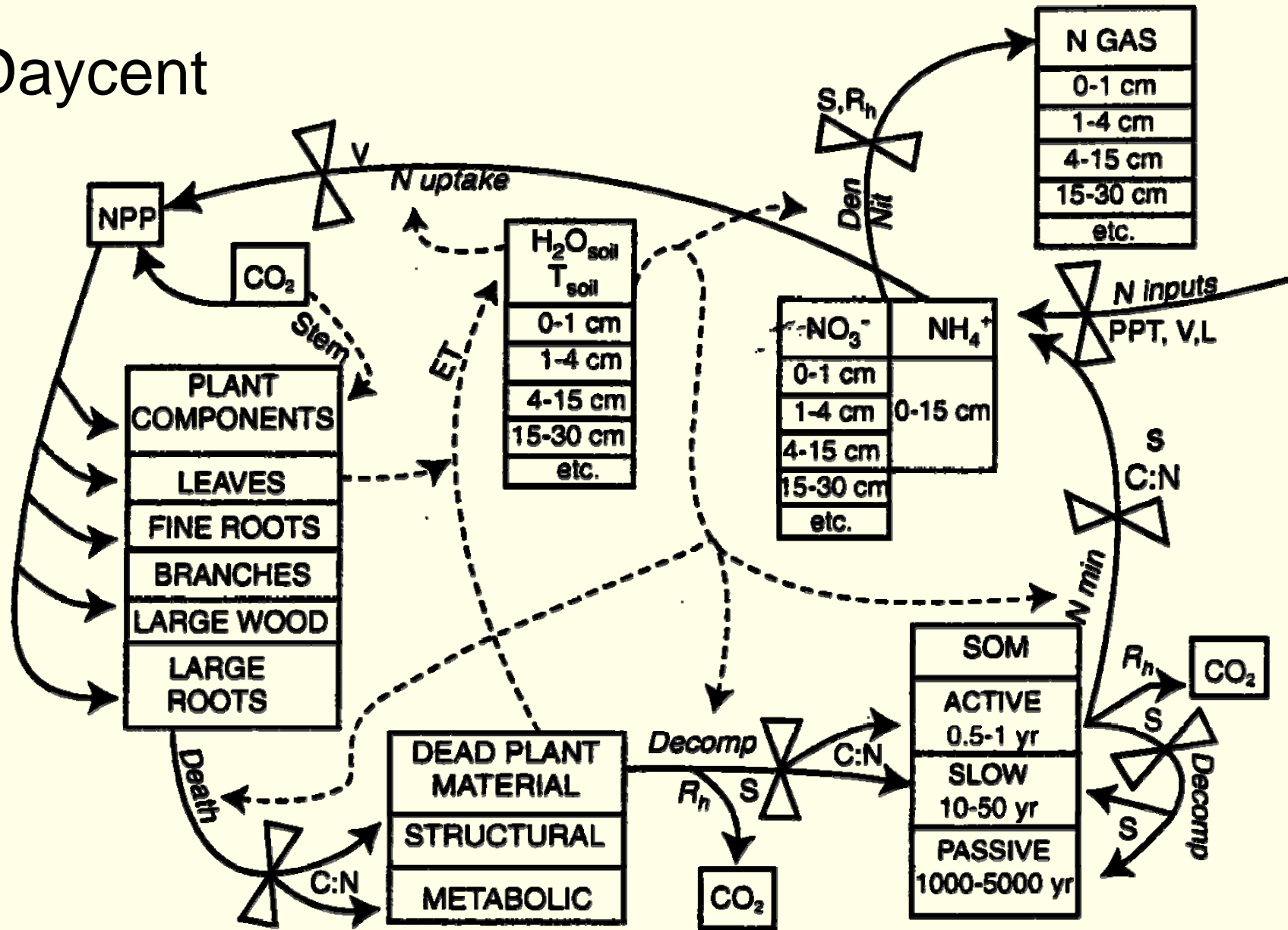
Emissão de N₂O oriundo de solos agrícolas por distrito da China



Li et al. (2001)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

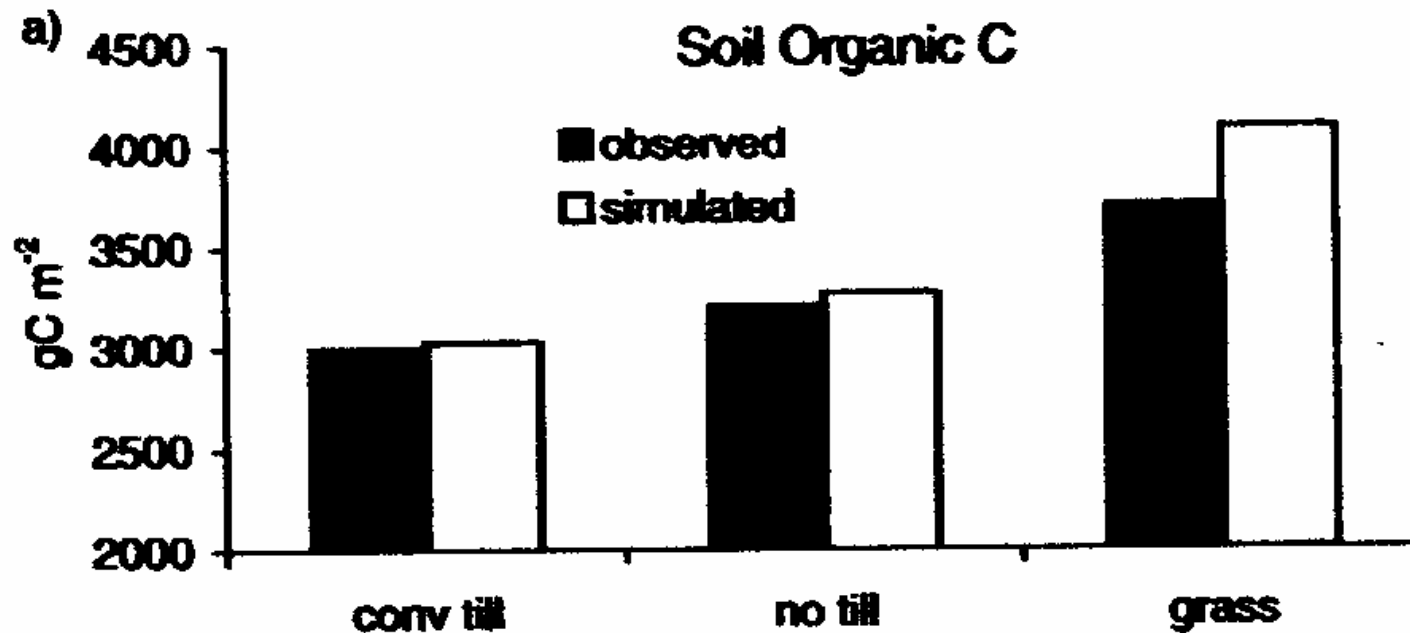
Daycent



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Estoque de C no solo (0-20cm), Nebraska, USA

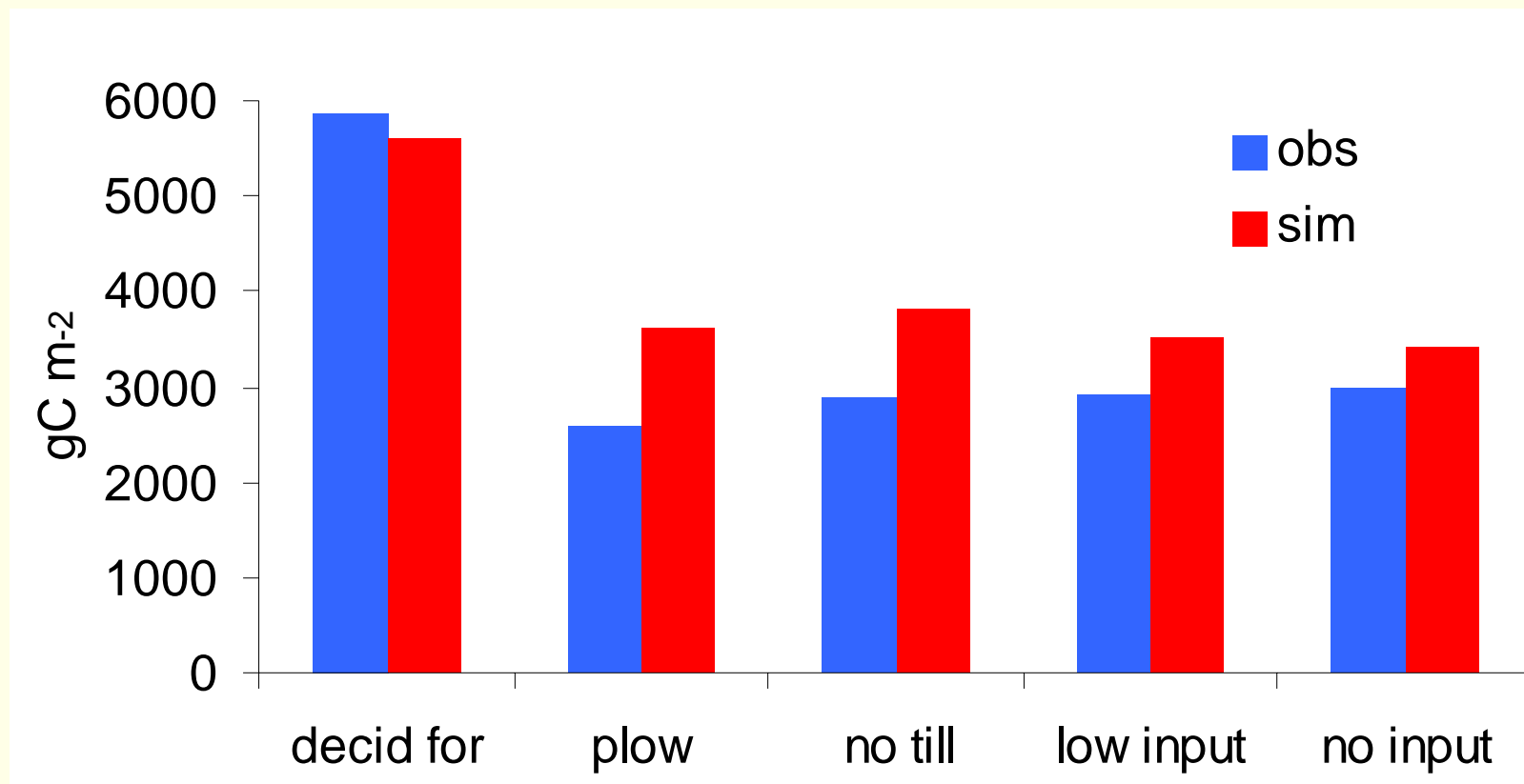
Diferentes sistemas de manejo



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

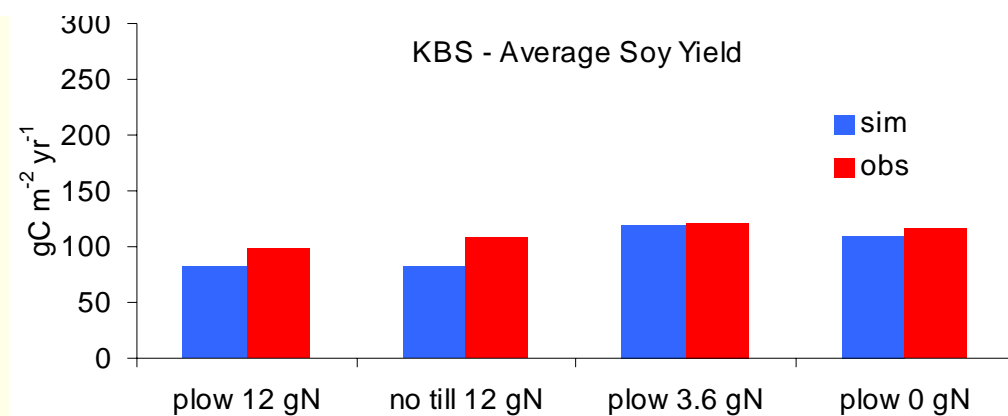
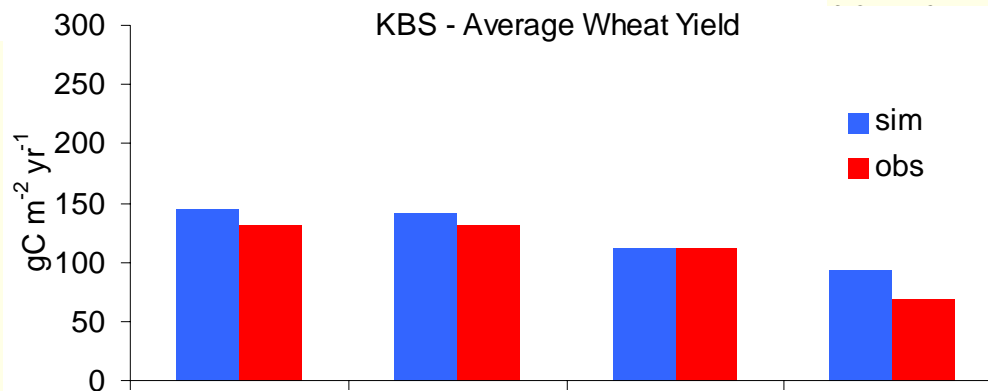
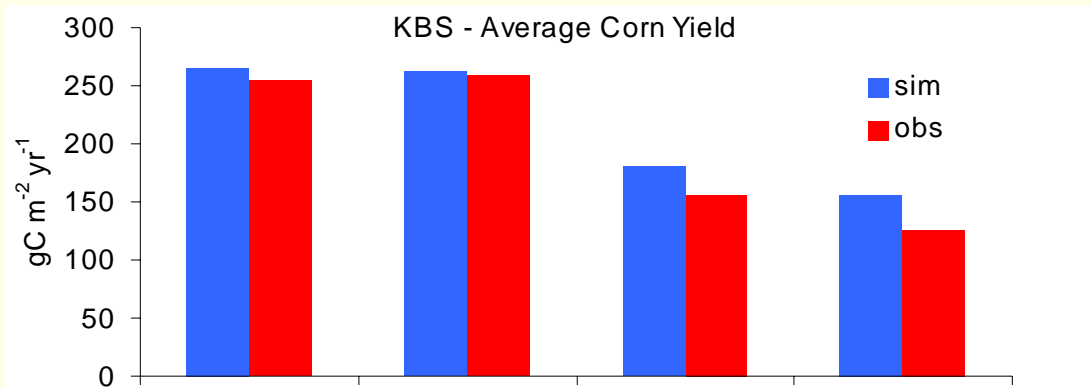
Estoque de C no solo (0-20cm), Nebraska, USA

Diferentes sistemas de manejo



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

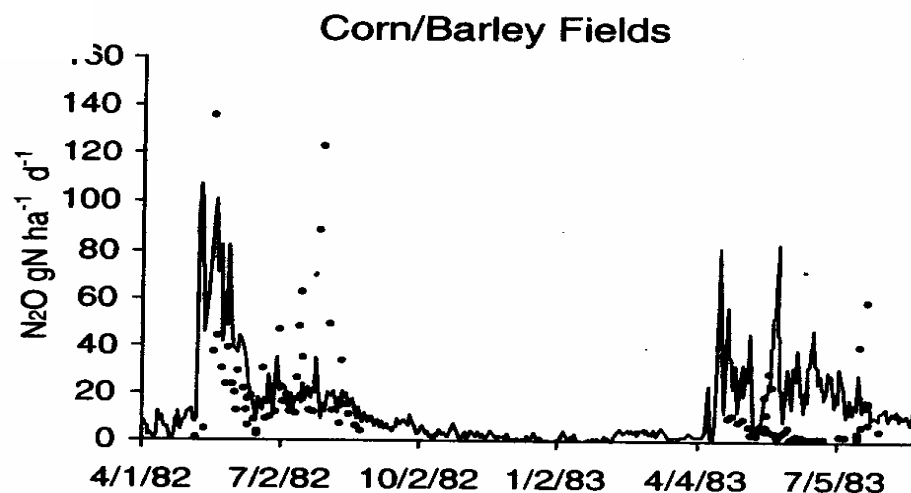
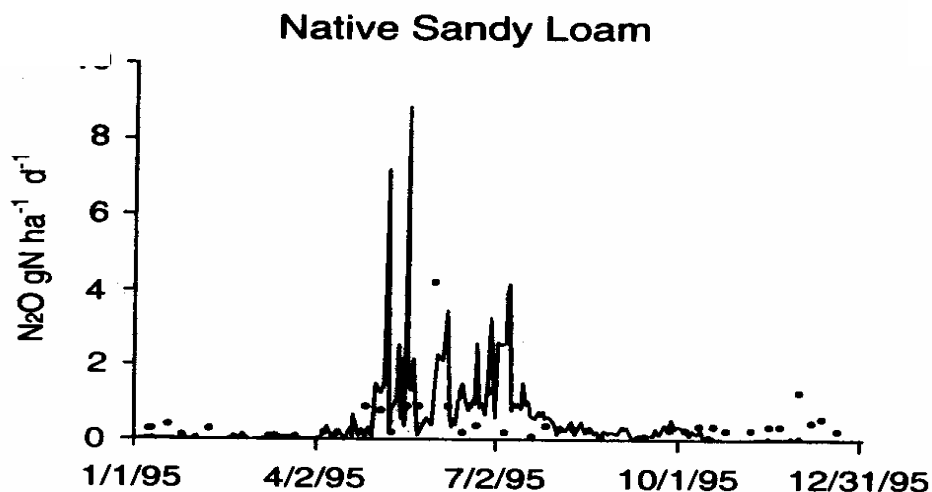
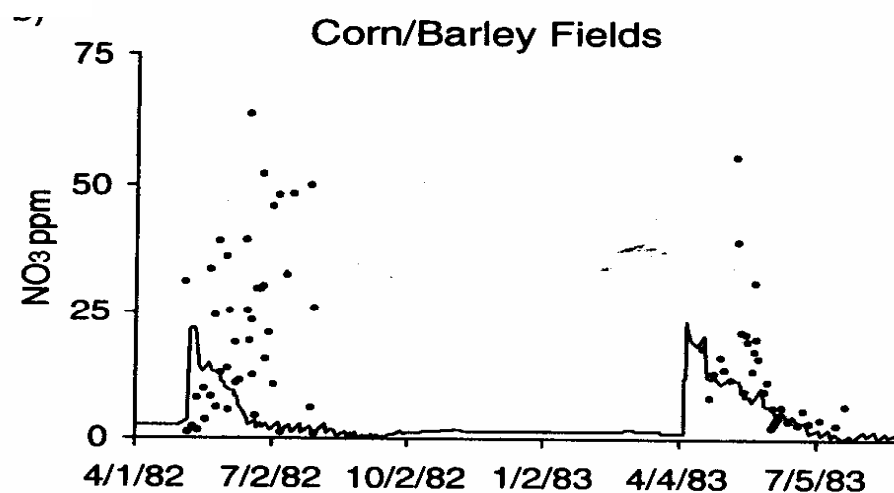
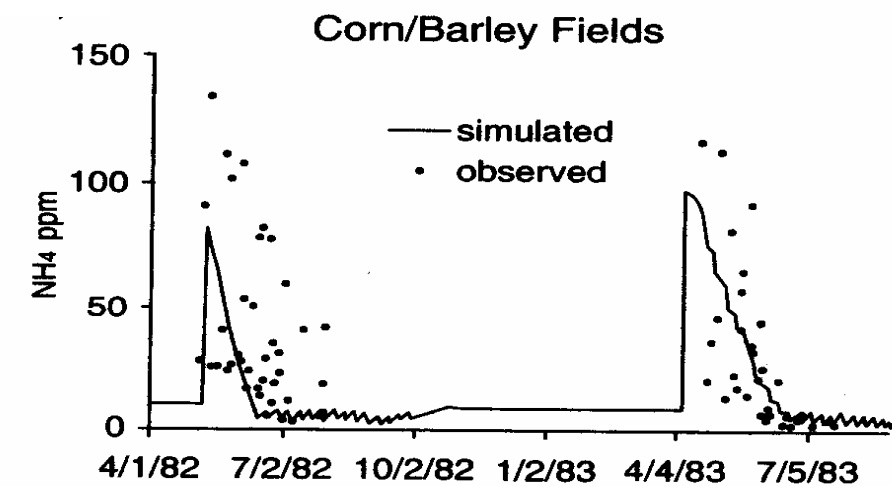
Conteúdo de Carbono na produção anual de grãos



Del Grosso et al. (2002)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Fluxo de gases oriundos de solos sob Milho/Cevada e pastagem (CO, USA)

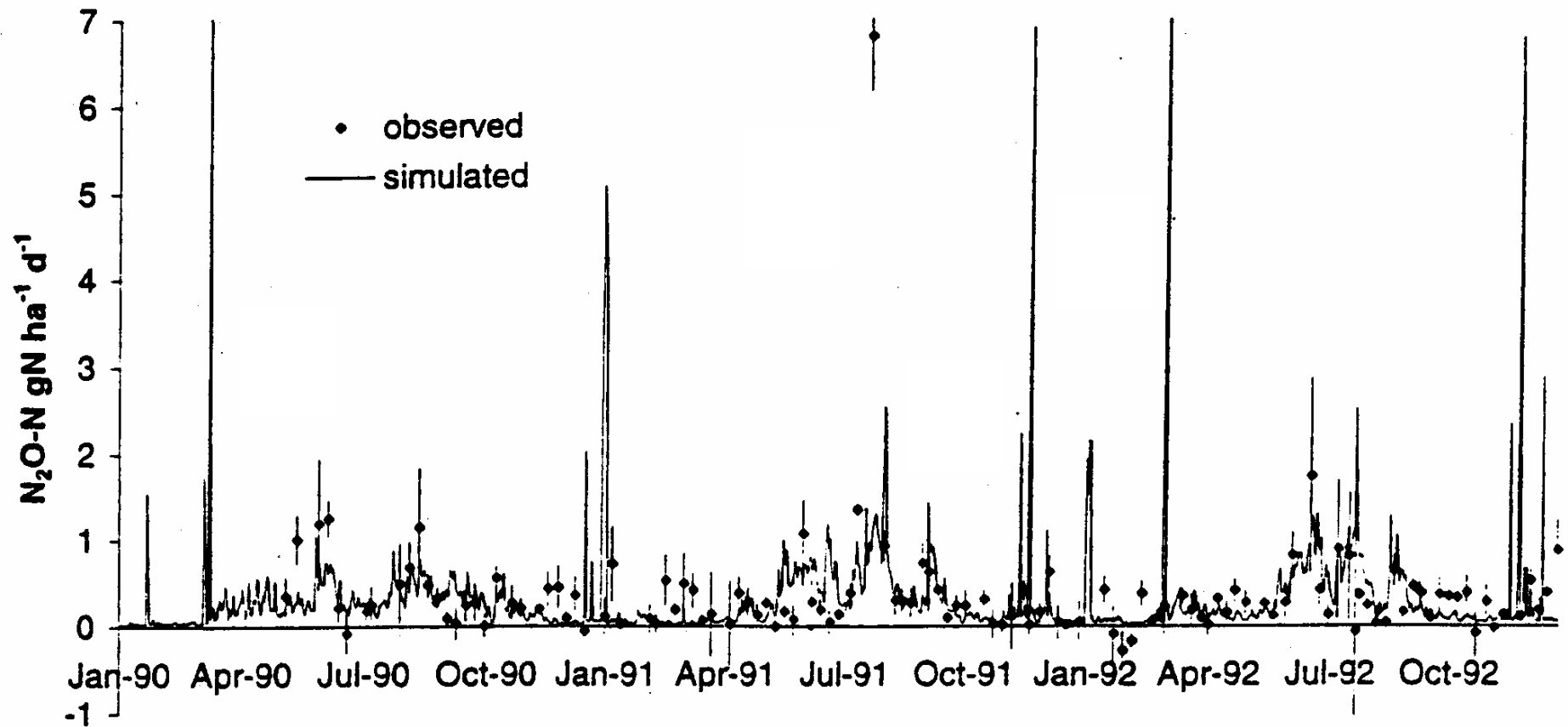


Irrigação e fertilização

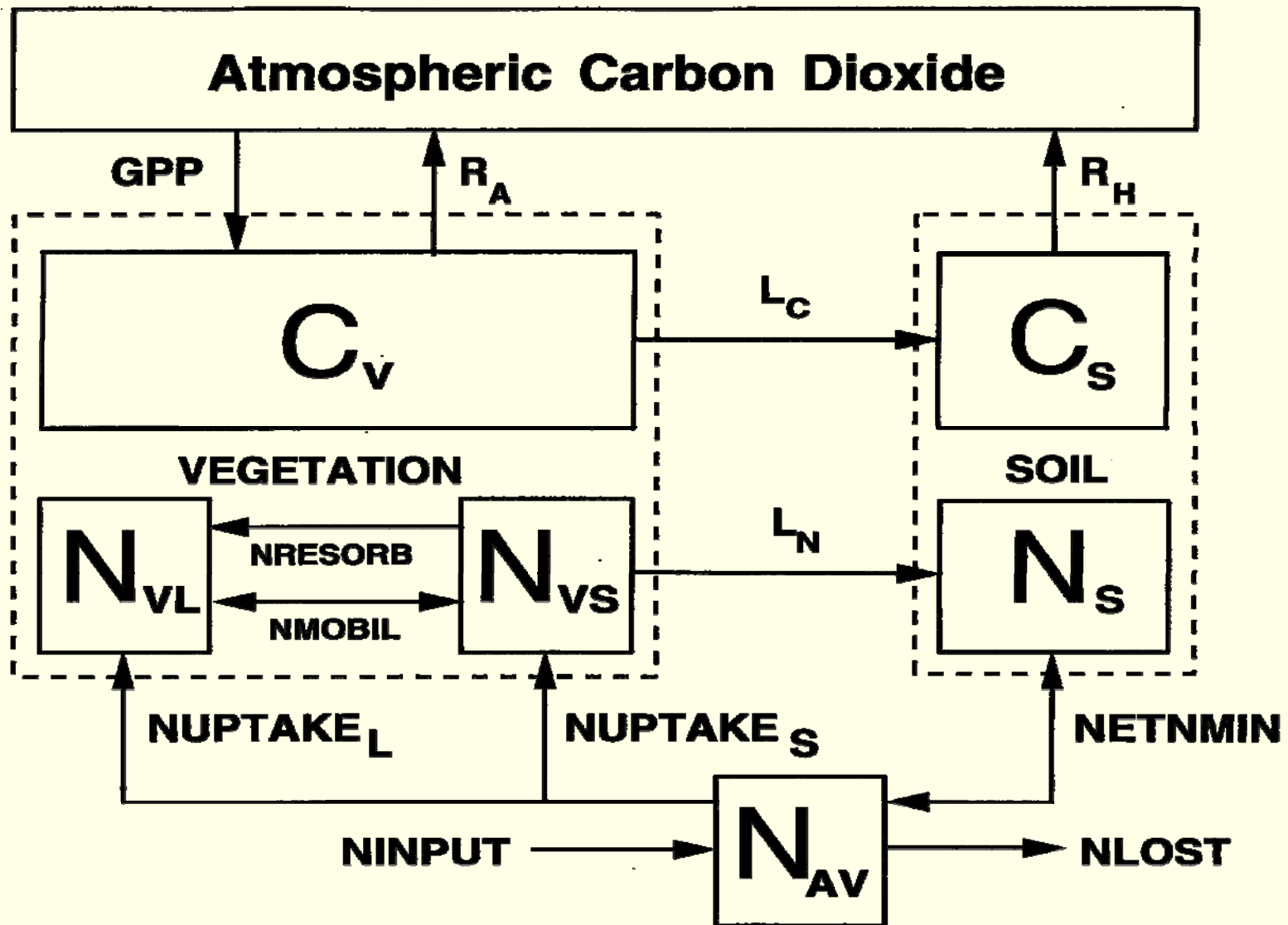
Del Grosso et al. (2001)

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Fluxo diário de N_2O oriundo de solo sob pastagem nativa nos USA



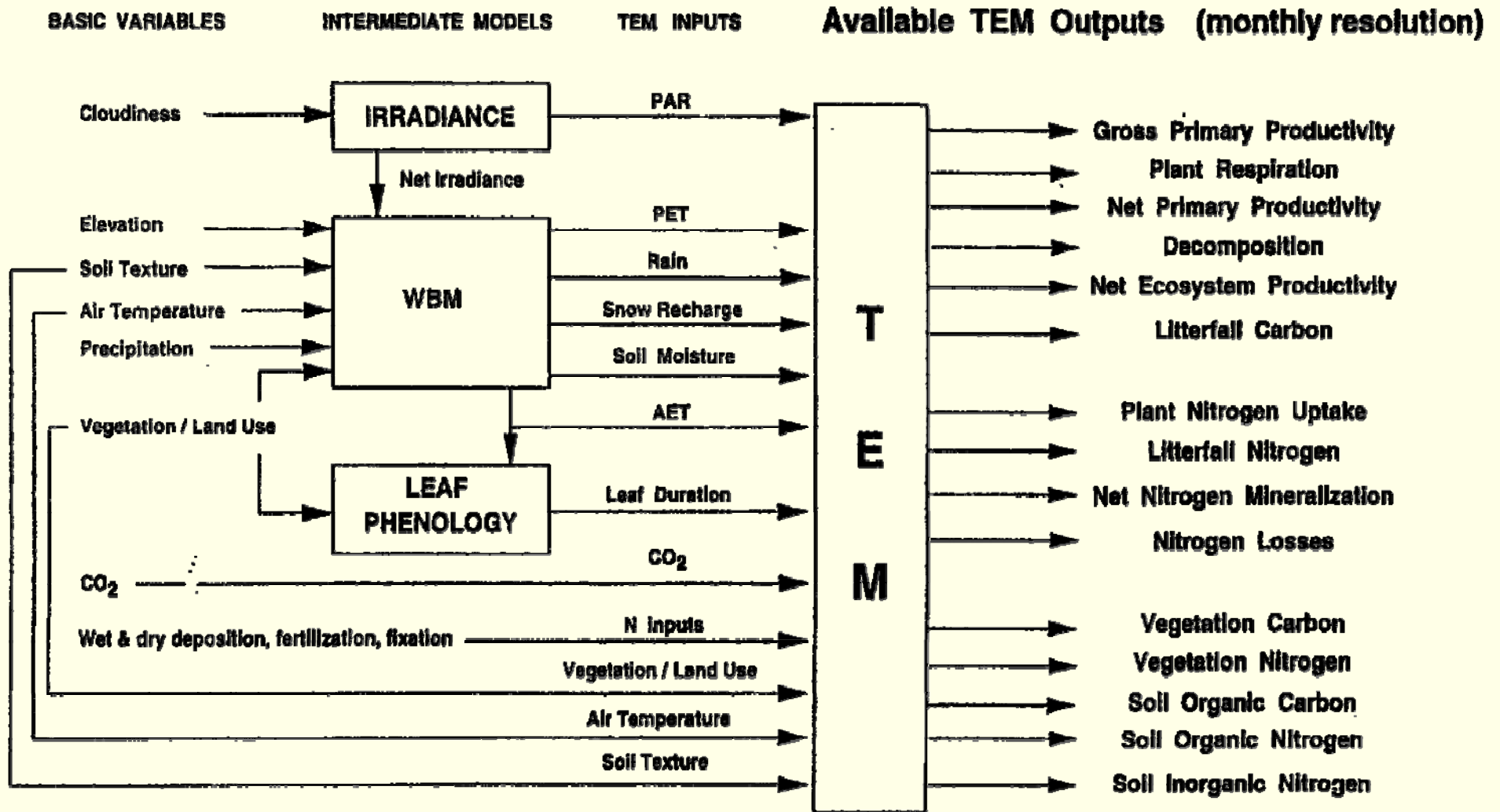
2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



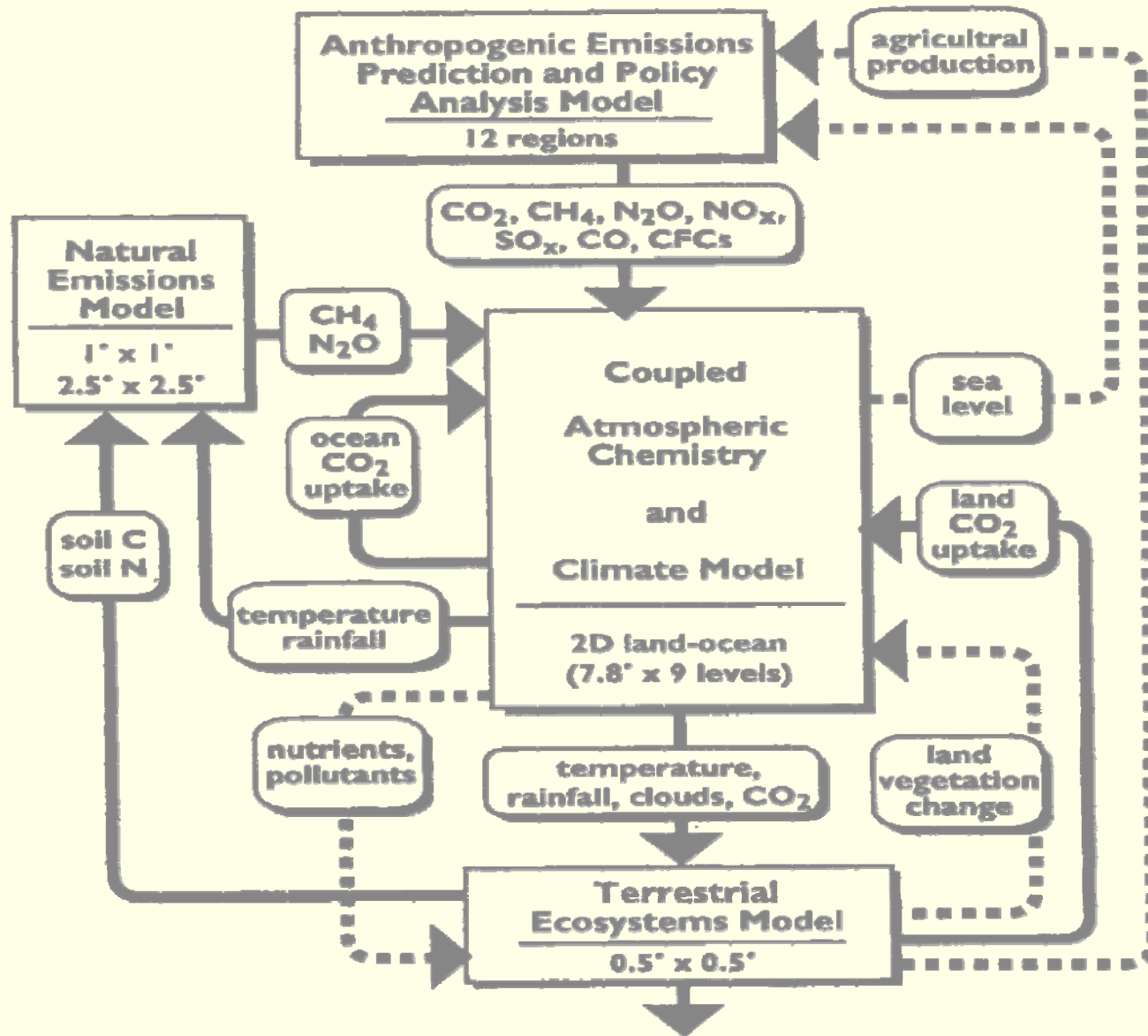
Terrestrial Ecosystem Model – TEM

2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Integração com outros modelos

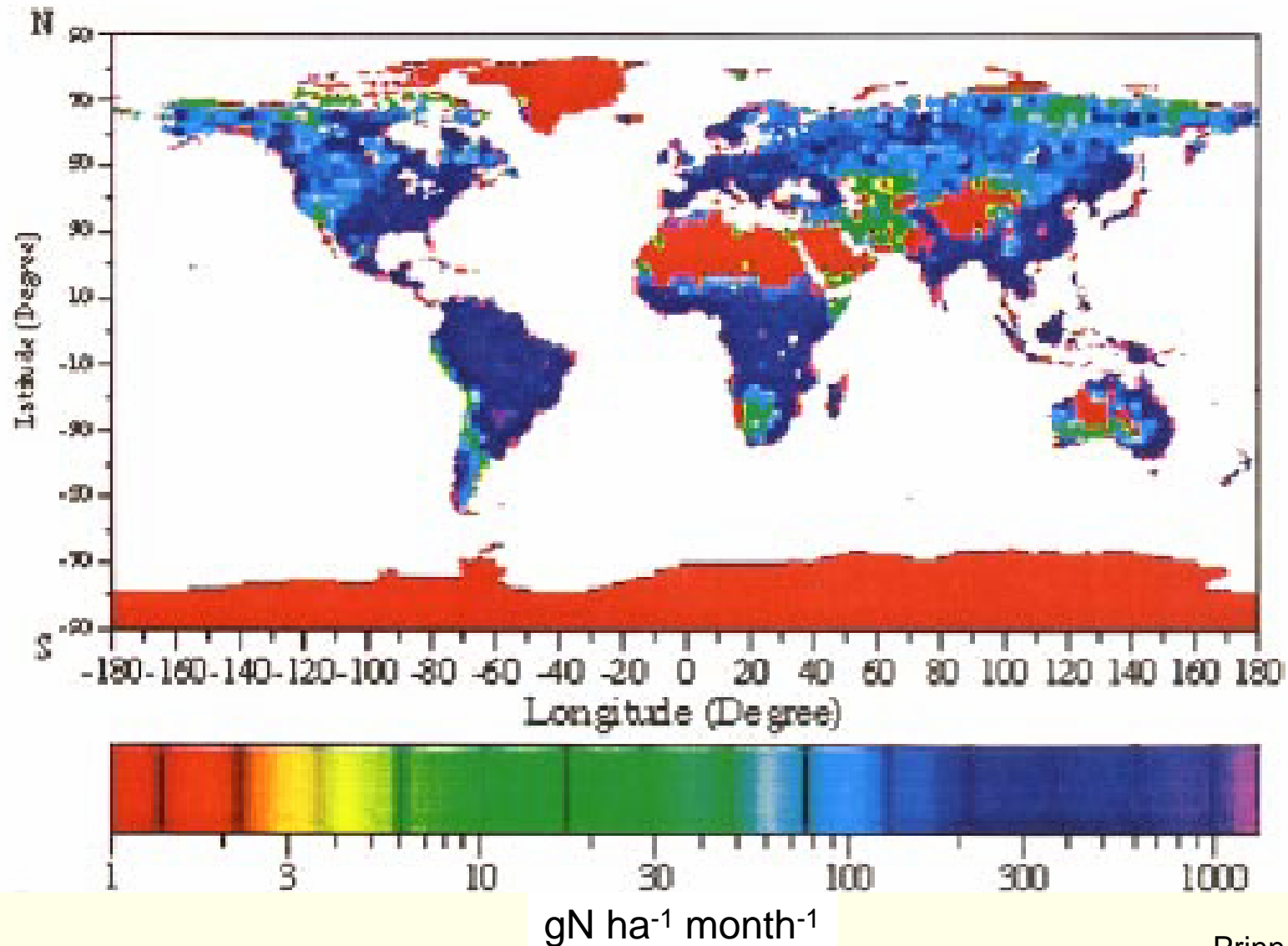


2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

Emissão de N₂O oriundo do solo



2. Modelos aplicados a pesquisas sobre MOS

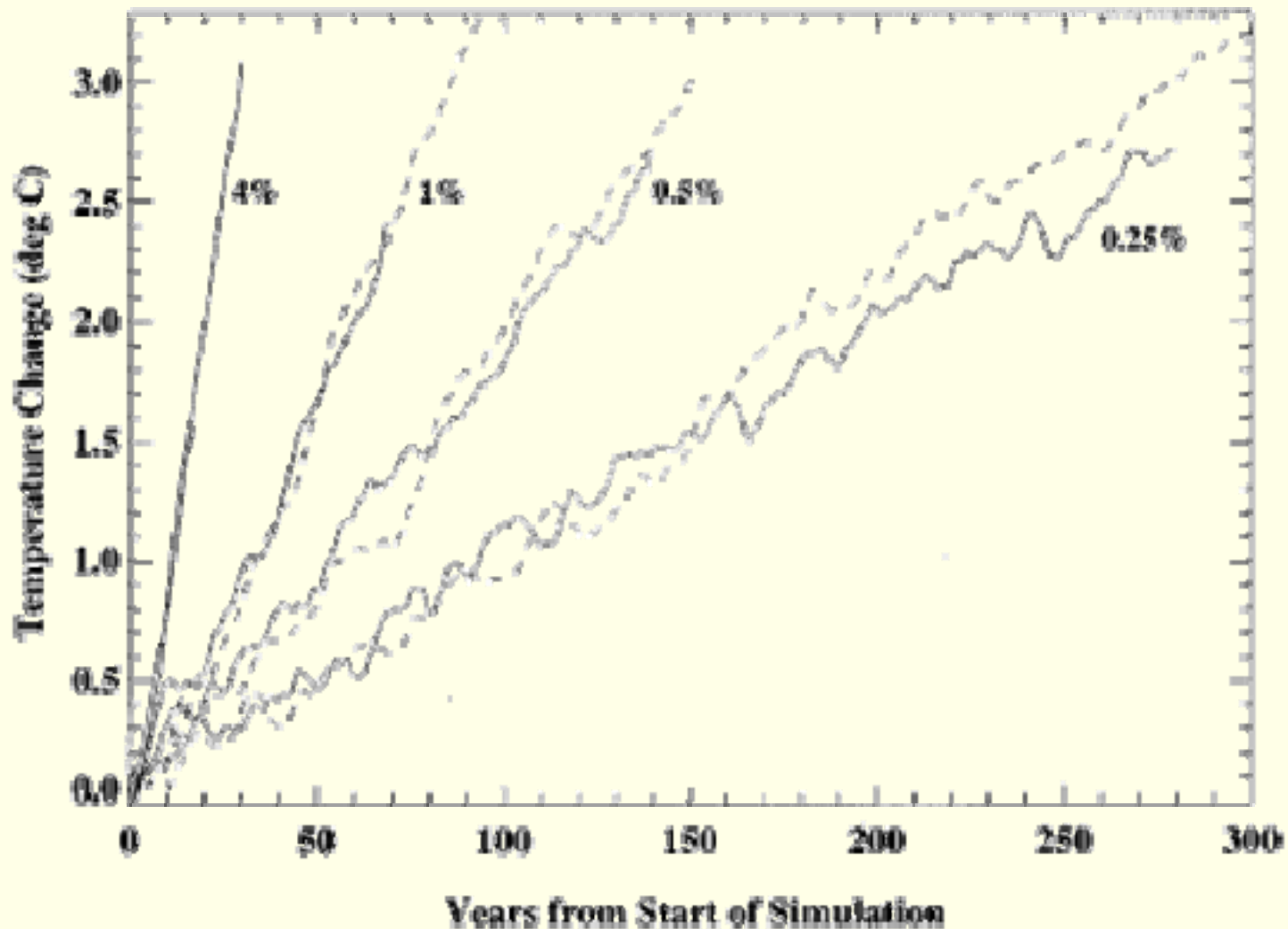


Figure 11. Global mean surface air temperature change caused by a 4%, 1%, 0.5%, and 0.25% per year increase in CO₂ in the simulations with the 2D-LD model with a sensitivity of 3.7 °C and $K_E = 3.0 \text{ cm}^2/\text{s}$ (solid curves) and the GFDL GCM (dashed curves, R. Stouffer, private communication, 1996).