

ALEXANDRE FERREIRA DO NASCIMENTO

**CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS CENTURY, APSIM
E NDICEA DE DECOMPOSIÇÃO DE MATERIAIS ORGÂNICOS E
MINERALIZAÇÃO DE N PARA A MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2008**

ALEXANDRE FERREIRA DO NASCIMENTO

**CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS CENTURY, APSIM E
NDICEA DE DECOMPOSIÇÃO DE MATERIAIS ORGÂNICOS E
MINERALIZAÇÃO DE N PARA A MATA ATLÂNTICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 24 de Junho de 2008.

Prof. Ivo Ribeiro da Silva
(Conselheiro)

Prof. Paulo Roberto Gomes Pereira

Prof. Júlio César Lima Neves

Prof. Ivo Jucksch

Prof. Eduardo de Sá Mendonça
(Orientador)

Aos meus pais...

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida, saúde e paz.

Aos meus pais, Orandir Ferreira do Nascimento e, Leonilda de Carvalho Martins do Nascimento, pelo amor e exemplo de vida, com ensinamentos de caráter, honra e dignidade.

Ao meu avô, Vicente Ferreira do Nascimento, que a pouco nos deixou, e minha avó, Mariana Augusta de Farias, pelas pessoas que são em minha vida.

Ao Professor Orientador Eduardo de Sá Mendonça, pelas orientações, paciência, confiança e pela força e conselhos durante todos os momentos.

Ao Professor Júlio César Lima Neves, pela consideração, valiosas orientações e conversas, que apesar de não fazer parte da comissão orientadora, desempenhou tal função.

Ao pesquisador co-orientador Luiz Leite Carvalho Leite (EMBRAPA Meio-Norte), pelas contribuições e orientações ao longo deste trabalho.

Ao Professor co-orientador Ivo Ribeiro da Silva, pelas contribuições, sugestões e disponibilidade em ajudar.

Ao Professor Ivo Jucksch, pelas correções na dissertação e pela disciplina ministrada durante o mestrado.

Ao Professor Paulo Roberto Gomes Pereira pelas colaborações e sugestões.

Ao Professor Elpídio Inácio Fernandes Filho, pelas contribuições na etapa inicial do trabalho.

Ao Professor João Carlos Ker, pelos conselhos e ensinamento repassados pela ampla experiência na Pedologia, o que me instigou a cada vez mais permanecer na academia.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV) pela oportunidade para realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de pós-graduação durante o mestrado.

Ao Departamento de Solos, seus professores e demais funcionários, que possibilitaram um bom aprendizado.

Aos Professores de graduação, Jorge Luiz Schirmer de Matos, Roberto Giolo de Almeida e Laércio Boratto de Paula, pelas boas conversas e conselhos que muito contribuíram para meus estudos.

Aos amigos de república Guilherme Corrêa (Tião), Carlos Eduardo (Pacheco), Luiz Francisco (baiano) e Kléberson de Souza (jacaré) pela convivência agradável durante minha estadia em Viçosa, com conversas amigáveis. Aos colegas e amigos de pós-graduação: Rubens (Gurupi), Ivan, Ítalo, Breno, Márcio, Gislane, Ivanilda, Carolina, Laudiceio, Tiago, Dalton, Vando, Helton, André, Marcus, Clério, Diogo, Jarbas, Fernando, David, Daniel e Bruno pela convivência. Ao pessoal do futebol dos sábados, pelo espírito de descontração. À todos os demais colegas de pós-graduação e do DPS.

Ao Eduardo da Silva Matos e Eddi Alejandro Vanegas Chacón pela disponibilidade dos dados para execução deste trabalho.

Ao Dr. Christopher Murphy que gentilmente nos concedeu a licença para trabalharmos com o APSIM.

Ao Dr. Walter A.H. Rossing que nos concedeu o NDICEA e as orientações para utilizá-lo.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
CAPÍTULO 1	6
CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS CENTURY, APSIM E NDICEA PARA DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE N DE MATERIAIS ORGÂNICOS.....	6
RESUMO	6
ABSTRACT	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
2.1. Descrição dos Locais e Materiais Orgânicos.....	10
2.1.1. Materiais Vegetais.....	10
2.1.2. Estercos.....	12
2.1.3. Compostos	13
2.2. Descrição dos Modelos.....	14
2.2.1. NDICEA	14
2.2.2. APSIM.....	16
2.2.3. Century	19
2.3. Parametrização e Calibração dos Modelos.....	21
2.4. Análise de Sensibilidade.....	22
2.5. Validação	23
2.6. Análise Estatística	24
2.6.1. Materiais Vegetais.....	24
2.6.2. Estercos e Compostos.....	25
3. RESULTADOS	26
3.1. Materiais Vegetais	26
3.1.1. Araçuaçu (150 dias).....	26
3.1.2. Pedra Dourada (360 dias).....	33

3.1.3. Análise de Sensibilidade.....	39
3.1.4. Validação.....	43
3.2. Estercos.....	46
3.3. Compostos.....	47
4. DISCUSSÃO.....	50
4.1. Materiais Vegetais.....	50
4.2. Estercos.....	55
4.3. Compostos.....	56
5. CONCLUSÕES.....	57
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
CAPÍTULO 2.....	62
AVALIAÇÃO DOS MODELOS CENTURY, APSIM E NDICEA EM ESTIMAR A ABSORÇÃO DE N EM SOLO ADUBADO COM MATERIAIS ORGÂNICOS.....	62
RESUMO.....	62
ABSTRACT.....	63
1. INTRODUÇÃO.....	64
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	66
2.1. Descrição experimental.....	66
2.2. Parametrização, Calibração e Simulação dos Modelos.....	67
2.2.1. NDICEA.....	67
2.2.2. Century.....	68
2.2.3. APSIM.....	68
2.3. Análise estatística.....	69
3. RESULTADOS.....	70
4. DISCUSSÃO.....	74
5. CONCLUSÕES.....	76
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
APÊNDICE.....	82

RESUMO

NASCIMENTO, Alexandre Ferreira do, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2008. **Calibração e validação dos modelos Century, APSIM e NDICEA de decomposição de materiais orgânicos e mineralização de N para a Mata Atlântica.** Orientador: Eduardo de Sá Mendonça. Co-orientadores: Ivo Ribeiro da Silva, Luiz Fernando Carvalho Leite e Paulo César de Lima.

Muitos sistemas de produção contam basicamente com os nutrientes provenientes da decomposição de materiais orgânicos adicionados ao solo. A taxa de decomposição desses materiais é produto da combinação de fatores intrínsecos, sua composição química e bioquímica, e fatores extrínsecos, sendo as condições de temperatura e umidade do local as variáveis mais importantes, constituindo assim em um processo complexo e dinâmico por ser controlado por vários fatores. Contudo, a decomposição pode ser representada e examinada dentro de esquemas e mecanismos que facilitam seu entendimento, os modelos matemáticos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi calibrar e validar os modelos Century, APSIM e NDICEA para decomposição e liberação de N em condições climáticas tropicais e materiais orgânicos de origens diversas; e testar a capacidade destes modelos em simular a absorção de N em solo adubado com materiais orgânicos utilizados na agricultura. Foram utilizados os resultados dos trabalhos desenvolvidos por Matos (2005) e Chacón (2006) como parâmetro de comparação para avaliação dos modelos. Na parametrização e calibração dos modelos para os materiais orgânicos vegetais, foram utilizados 8 resíduos testados em Araponga por 150 dias e 4 testados em Pedra Dourada por 360 dias, ambos os municípios situados na Zona da Mata mineira. Os modelos foram validados utilizando características edafoclimáticas de Seropédica (RJ), com 4 resíduos de materiais vegetais, avaliados no inverno e verão. Foram calibrados os modelos para a decomposição e mineralização de N de 4 esterco e 4 compostos testados em laboratório. Para a absorção de N, foram calibrados os modelos para a planta de braquiária crescendo em solo adubado com 5 materiais orgânicos. De maneira geral, a calibração padrão (*default*) do Century e APSIM superestimou a taxa de decomposição e liberação de N de todos os resíduos vegetais e, o NDICEA, superestimou estes processos para materiais mais resistentes a decomposição. Dessa forma, a calibração foi imprescindível para aumentar o grau de acurácia desses modelos. Na validação dos modelos o NDICEA apresentou maior grau de acurácia em relação aos demais,

simulando com menor desvio a decomposição e liberação de N dos materiais vegetais na estação seca e chuvosa. A calibração para decomposição e mineralização de N dos esterco e compostos foi pontual, conferindo a todos os modelos elevado grau de acurácia em estimar as transformações destes materiais orgânicos. Os modelos superestimaram a absorção de N pela braquiária com a calibração feita para a liberação/mineralização de N dos materiais orgânicos aplicados no solo. Assim, para diminuir o desvio entre os valores de N absorvido simulado e medido, foi necessária a calibração específica para a absorção de N. Depois dos modelos calibrados, o NDICEA apresentou maior grau de acurácia em estimar a absorção de N pela braquiária com a adição de materiais orgânicos como fonte de nutrientes. Dessa forma, pelos testes realizados o NDICEA foi o modelo mais acurado para as condições estudadas, constituindo-se em uma ferramenta para predição e uso de fontes orgânicas para o manejo do solo de propriedade rurais. Contudo, trabalhos futuros são necessários, de modo que insiram maior número de materiais orgânicos e ambientes, fazendo com que o(s) modelo(s) seja(m) cada vez mais consolidado(s) para predição do comportamento de fontes orgânicas no campo, de modo que o sincronismo do fornecimento e demanda de nutrientes nestes agroecossistemas seja mais eficiente.

ABSTRACT

NASCIMENTO, Alexandre Ferreira do, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2008.
Parameterisation and validation of Century, APSIM and NDICEA models for decomposition of organics materials and N mineralization for Atlantic Forest. Adviser: Eduardo de Sá Mendonça. Co-Advisers: Ivo Ribeiro da Silva, Luiz Fernando Carvalho Leite and Paulo César de Lima.

A high number of agricultural systems depends on nutrients coming from decomposition of organics materials applied into soil. The decomposition rate of these materials is controlled by intrinsic factors as chemical and biochemical composition and extrinsic factors as temperature and moisture. Hence, the decomposition is a complex and dynamic process, which can be represented and examined within a framework, the mathematical models. Thus, the goal of this work was to make the parameterization and validation of Century, APSIM and NDICEA models for tropical conditions, working with different organic materials and to evaluate the capacity of these models to simulate N uptake mineralized from the organic materials. The information for model parameterization and calibration were collected in Matos (2005) and Chacón (2006). From this database it was utilized eight green manure residues evaluated in Araponga for 150 days and four in Pedra Dourada for 360 days, both municipalities situated in the Atlantic Forest of Minas Gerais State. For validation of the models it was utilized data from an experiment carried out in Seropédica (RJ), with four green manure residues, evaluated in the winter and summer seasons. The models were also calibrated to decomposition and N mineralization of four animal manures and four composts. To the N uptake, the calibration of the models was performed in order to assess the growth of *Brachiaria* plants with application of five organic materials as fertilizers. The calibration using the default of the Century and APSIM models overestimated the decomposition rate and N release of all the vegetable residues and, the NDICEA, underestimated those processes to the more recalcitrant materials. Thus, the calibration was essential to improve the accuracy level of these models. After calibrate the models, the NDICEA presented higher accuracy level than the Century and APSIM, simulating with lower error the decomposition and N release of the green manures in the winter and summer seasons. The calibration of the decomposition and N mineralization of the animal manures and composts was done individually, all models presented high performance in simulating those processes. The models overestimated the N uptake by *Brachiaria* plants when working with the calibration done to N mineralization of

the organic materials. To increase the accuracy of the models in estimating the N uptake it was essential to do a specific calibration. After of this calibration, the NDICEA model presented the highest accuracy in estimating the N uptake by *Brachiaria* plants. After testing the accuracy of the models, the NDICEA presented the best performance in the environmental conditions of our study, showing potential to be a tool to be used in optimizing the use of organic materials as a source of N in the agroecosystems. However, future works are necessary, incorporating more organic materials and environments to improve the models in estimating the decomposition of organic material and N mineralization and its uptake by plants.

INTRODUÇÃO GERAL

O manejo adequado dos materiais orgânicos utilizados na agricultura é importante para a sustentabilidade de sistemas agrícolas que utilizam dessas fontes como entrada de nutrientes para produção vegetal. A dinâmica de decomposição desses materiais tem influência nos fatores químicos, físicos e biológicos do solo, com reflexo na temperatura, dinâmica de água, conteúdo de matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e erosão, que condicionam o solo para o bom crescimento de plantas.

Todos os processos desencadeados pela adição de materiais orgânicos são de extrema importância para conservação e uso do solo, entretanto, a ciclagem de nutrientes ganha papel de destaque no manejo dos solos em ambientes tropicais, por razão da baixa disponibilidade de nutrientes. A adição dessas fontes orgânicas a curto prazo tem efeito no suprimento de nutrientes e, a longo prazo, pode contribuir para a formação da matéria orgânica e agregados do solo (Palm et al., 2001).

A liberação de nutrientes de diversas fontes orgânicas adicionadas ao solo ocorre concomitantemente à decomposição, exceto para alguns elementos, como o potássio (K), que não estão ligados a compostos orgânicos nas plantas. Por sua vez, a decomposição é controlada por efeitos combinados da composição do material, variáveis climáticas e edáficas, que influenciam na ação dos microrganismos sobre os resíduos em decomposição (Swift et al., 1979). Portanto, a decomposição é controlada por fatores extrínsecos (condições edafoclimáticas) e intrínsecos (composição química e bioquímica) aos materiais orgânicos (Heal et al., 1997). Dentre os fatores extrínsecos, a temperatura e a umidade ganham destaque por exercerem efeitos reguladores sobre a decomposição. Porém, outros fatores, como aeração e o pH também podem exercer influência nesse processo (Swift et al., 1979). Dos fatores ligados ao material orgânico, vários estudos têm mostrado que seu conteúdo de N, e/ou sua relação C/N, interfere muito neste processo. Para resíduos vegetais, além da relação C/N, outros componentes, tais como lignina e polifenóis e suas relações com o N, podem ditar, também, a velocidade de decomposição (Cobo et al., 2002).

Palm et al. (2001) estudaram um banco de dados das fontes orgânicas de interesse para a melhoria da fertilidade do solo em agroecossistemas tropicais e propuseram um esquema de utilização dos materiais de acordo com sua composição química (Figura 1). Este esquema, embora seja útil, fornece somente informações generalizadas da melhor forma de aplicação dos

materiais, não sendo possível saber o tempo que estes permanecerão no solo, qual a dinâmica de mineralização de nutrientes, entre outros fatores importantes para seu manejo adequado.

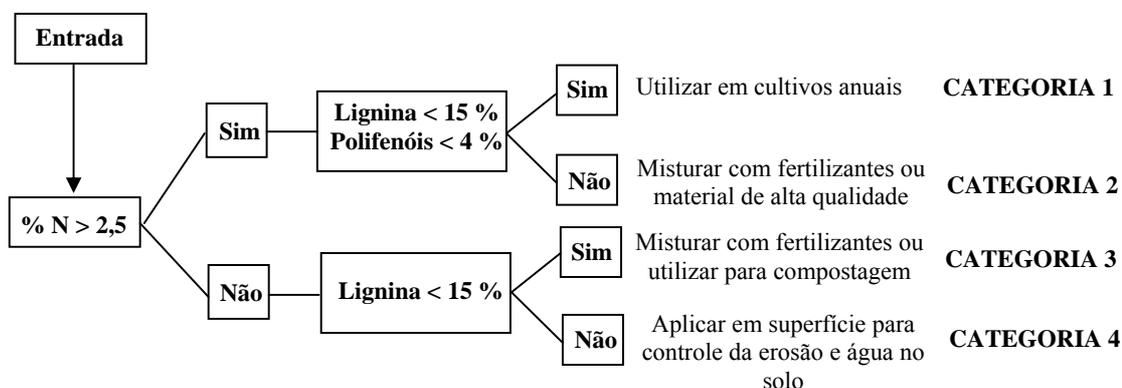


Figura 1 – Esquema proposto dos procedimentos à serem adotados para uso de materiais orgânicos de acordo com sua composição (Palm et al., 2001).

Por serem as transformações de materiais orgânicos adicionados no sistema solo-planta um processo de natureza complexa e dinâmica, uma vez que é controlado por inúmeras variáveis, este pode ser representado e examinado por esquemas e mecanismos que facilitam seu entendimento, os modelos matemáticos.

Os modelos são ferramentas utilizadas em diversas áreas do conhecimento e da ciência, como na biologia, química, física, economia, matemática, engenharia, agronomia, na tentativa de representar e interpretar de maneira simplificada o que ocorre naturalmente (Addiscott, 1993). A proposta da modelagem ganhou força a partir do momento em que os estudos referentes a alguma área do conhecimento tornaram-se repetidos e pelo advento e avanços, em grande escala, na computação. Portanto, modelos matemáticos utilizam equações para representar as interconexões de um sistema, para o estudo de problemas reais de natureza complexa, por meio de experimentação computacional (Leite & Mendonça, 2007). Os modelos necessitam da entrada de informações, freqüentemente na forma de números, que podem ser parâmetros ou dados.

A modelagem é dividida em etapas: parametrização, calibração, validação e análise de sensibilidade. Na calibração tenta-se estabelecer similaridade entre os dados observados e simulados pelo modelo pela variação dos seus parâmetros internos. Para isso, é necessário organizar uma base de dados referentes às condições que os modelos estão sendo testados. Depois de parametrizados e calibrados, para validação é imprescindível a simulação dos modelos

com dados contrastantes àqueles testados e calibrados, geralmente em outra localização geográfica. É indispensável a análise de sensibilidade dos modelos, feito pela mudança no valor de um parâmetro (escolhido para teste) de entrada e verificar o resultado da simulação. Estas são etapas necessárias para trabalhos que tem como objetivo testes ou elaboração de modelos.

Existem vários modelos para simular a dinâmica do carbono (C) e nitrogênio (N) no solo. McGechan & Wu (2001) revisaram e detalharam quatro modelos que podem ser utilizados para descrever estes processos na Europa e, Ma & Shaffer (2001), fizeram o mesmo para os Estados Unidos, com nove modelos. Entretanto, a maioria desses modelos são aplicáveis para simulação de médio a longo prazo da matéria orgânica estabilizada do solo.

Os modelos encontrados e desenvolvidos para simular a dinâmica de materiais orgânicos podem ser divididos em dois grupos (Fideling et al., 2007). No primeiro, estão inseridos os modelos desenhados para verificar o efeito a longo prazo do manejo dos materiais orgânicos sobre o estoque de C e N no solo: Century (Parton et al., 1987), GENDEC (Moorhead & Reynolds, 1991) e ROTHC. Um segundo grupo tem sido desenvolvido para simular em curto prazo a decomposição de resíduos em superfície associado à dinâmica do C e N para cultivos de ciclo curto: NDICEA (Burgt et al., 2006), CERES-N (Quemada et al., 1997), STICS (Brisson et al., 1998), NCSOIL (Molina et al., 1983), PASTIS (Garnier et al., 2003), APSIM (Thorburn et al., 2001) e EXPERT-N (Berkenkamp et al., 2002). Alguns desses modelos se destacam quanto sua estruturação (NDICEA) e utilização freqüente para nossas condições (Century). Além disso, há também aqueles que foram desenvolvidos para condições tropicais similares ao Brasil (APSIM).

De maneira geral, os modelos têm elevada acurácia para descrever a decomposição de materiais orgânicos para as condições às quais foram idealizados. Contudo, para que estes possam ser utilizados com alto grau de acurácia por técnicos e cientistas para simulação dos processos que ocorrem no sistema solo-planta sob condições tropicais com a decomposição dos materiais orgânicos, são necessários testes de calibração, ajustes e validação.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi calibrar e validar os modelos Century, APSIM e NDICEA para a decomposição e liberação de N de materiais orgânicos de origens diversas em condições climáticas tropicais e, testar a capacidade destes modelos em simular a absorção de N por plantas em solo adubado com diferentes materiais orgânicos utilizados na agricultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*, 60: 15-40, 1993.
- BERKENKAMP, A.; PRIESACK, E.; MUNCH, J.C. Modelling the mineralisation of plant residues on the soil surface. *Agronomie*, 22: 711–722, 2002.
- BRISSON, N.; MARY, B.; RIPOCHE, D.; JEUFFROY, M.H.; RUGET, F.; GATE, P. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parametrisation applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18: 311–346, 1998.
- BURGT, G.J.H.M.; OOMEN, G.J.M.; HABETS, A. S. J.; ROSSING, W.A.H. The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutr. Cycling Agroec.*, 74: 275-294, 2006.
- COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L.; THOMAS, R.J. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant and Soil*, 240: 331–342, 2002.
- FINDELING, A.; GARNIER, P.; COPPENS, F.; LAFOLIE, F.; RECOUS, S. Modelling water, carbon and nitrogen dynamics in soil covered with decomposing mulch. *Eur. J. Soil Sci.*, 58: 196–206, 2007.
- GARNIER, P.; NEÉL, C.; AITA, C.; RECOUS, S.; LAFOLIE, F.; MARY, B. Modelling carbon and nitrogen dynamics in a bare soil with and without straw incorporation. *Europ. J. Soil Sci.*, 54, 555–568, 2003.
- HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: CADISCH G.; GILLER K.E. *Driven by nature: plant quality and decomposition*. Wallingford, CAB International, 1997.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S. Perspectivas e limitações da modelagem da dinâmica da matéria orgânica dos solos tropicais. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M., eds. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. p. 181-217. (Volume 5).
- MA, L.; SHAFFER, M.J. A review of Carbon and Nitrogen processes in European soil nitrogen dynamics models. In: SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. *Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 2001, p. 55-102.
- McGECHAN, M.B.; WU, L. A review of Carbon and Nitrogen processes in nine U.S. soil nitrogen dynamics models. In: SHAFFER, M.J.; MA, L. & HANSEN, S., eds. *Modeling Carbon and Nitrogen Dynamics for Soil Management*. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 2001, p. 103-171.

- MOLINA, J.E.; CLAPP, C.E.; SCHAEFFER, M.J.; CHICHESTER, F.W.; LARSON, W. NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformation in soil: description, calibration and behaviour. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 85–91, 1983.
- MOORHEAD, D.L.; REYNOLDS, J.F. A general model of litter decomposition in the northern Chihuahuan Desert. *Ecological Modelling*, 59: 197–219, 1991.
- PALM, C.A.; CATHERINE, C.N.; DELVE, R.J.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agricul. Ecosys. and Environ.*, 83: 27-42, 2001.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 1173-1179, 1987.
- QUEMADA, M.; CABRERA, M.; McCracken, D. Nitrogen release from surface-applied cover crop residues: evaluating the CERES-N submodel. *Agron. J.*, 89: 723–729, 1997.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Berkeley: Blackwell Scientific Publications, 1979. 372 p.
- THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM-Residue. *Field Crops Res.*, 70: 223-232, 2001.

CAPÍTULO 1

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS MODELOS CENTURY, APSIM E NDICEA PARA DECOMPOSIÇÃO E LIBERAÇÃO DE N DE MATERIAIS ORGÂNICOS

RESUMO

A adição de materiais orgânicos representa a principal fonte de nutrientes em várias propriedades rurais. Estes nutrientes são disponibilizados no sistema solo-planta a medida que os materiais são decompostos, onde concomitantemente ocorre a mineralização dos nutrientes que fazem parte de compostos orgânicos. Dessa forma, a compreensão das transformações que ocorrem durante a decomposição é de extrema importância para o manejo dos sistemas que dependem basicamente dessas fontes para a nutrição de plantas. O objetivo deste trabalho foi calibrar e validar os modelos NDICEA, Century e APSIM para decomposição e liberação de N de materiais orgânicos de diversas origens e em várias condições climáticas. Foram utilizados os resultados de Matos (2005) e Chacón (2006) para alimentação e parametrização na simulação dos modelos. Utilizou-se 8 resíduos de materiais vegetais testados em Araponga por 150 dias e, 4 testados em Pedra Dourada por 360 dias, ambos municípios situados na Zona da Mata Mineira. Os modelos foram validados utilizando características edafoclimáticas de Seropédica (RJ), e 4 resíduos de materiais vegetais, avaliados no inverno e verão. Foram calibrados os modelos para a decomposição e mineralização de N de 4 esterco e 4 compostos testados em laboratório. De maneira geral, a calibração padrão (*default*) do Century e APSIM superestimou a taxa de decomposição e liberação de N de todos os resíduos vegetais e, do NDICEA, superestimou estes processos para materiais mais resistentes a decomposição. Dessa forma, a calibração foi imprescindível para aumentar o grau de acurácia desses modelos. Na validação dos modelos o NDICEA apresentou maior grau de acurácia em relação aos demais, simulando com menor desvio a decomposição e liberação de N dos materiais vegetais na estação seca e chuvosa. Dessa forma, pelos testes realizados o NDICEA foi o modelo mais acurado para descrever a decomposição e liberação de N dos materiais vegetais para as condições tropicais testadas. A calibração para decomposição e mineralização de N dos esterco e compostos foi pontual, conferindo a todos os modelos elevado grau de acurácia em estimar as transformações destes materiais orgânicos em condições de laboratório.

**PARAMETERIZATION AND VALIDATION OF THE CENTURY, APSIM AND
NDICEA MODELS TO DECOMPOSITION AND N RELEASE OF ORGANICS
RESOURCES**

ABSTRACT

Organic resources play a dominant role in soil fertility management in the tropics through their short-term effects on nutrient supply. Hence, the understanding of the transformation that occurs through the decomposition is important to management of the systems that depend basically on these materials for plant nutrition. Thus, the goal of this work was to make the parameterization and validation of Century, APSIM and NDICEA models for tropical conditions, working with different organic materials. The information for model parameterization and calibration was collected in Matos (2005) and Chacón (2006). From this database it was utilized eight green manure residues evaluated in Araponga for 150 days and four in Pedra Dourada for 360 days, both municipalities situated in the Atlantic Forest of Minas Gerais State. For validation of the models it was utilized data from an experiment carried out in Seropédica (RJ), with four green manure residues, evaluated in the winter and summer seasons. The models were also calibrated to decomposition and N mineralization of four animal manures and four composts. The calibration using the default of the Century and APSIM models overestimated the decomposition rate and N release of all the vegetable residues and, the NDICEA, underestimated those processes for the more recalcitrant materials. Thus, the calibration was essential to improve the accuracy level of these models. After calibrating the models, the NDICEA presented a higher accuracy level than the Century and APSIM, simulating with lower error the decomposition and N release of the green manures in the winter and summer seasons. The calibration of the decomposition and N mineralization of the animal manures and composts was done individually, all models presented high performance in simulating those processes.

1. INTRODUÇÃO

Em sistemas alternativos de produção diversas estratégias têm sido empregadas para melhorar as condições do solo para o crescimento de plantas, tais como a utilização de resíduos vegetais, esterco e compostos. Além disso, algumas propriedades utilizam fontes orgânicas pela necessidade de diminuir ao máximo a entrada de insumos externos, maximizando o uso de insumos produzidos na propriedade, aliando a diminuição do custo de produção com maior produtividade.

Esses materiais orgânicos, juntamente com a matéria orgânica do solo, representam e constituem na principal fonte de nutrientes para cultivos orgânicos ou agroecológicos. No entanto, devido às transformações desses materiais no sistema solo-planta ser complexas e dinâmicas, há restrições na sua utilização de maneira mais criteriosa, não fornecendo informações coerentes e conclusivas aos produtores e técnicos.

Quando adicionados aos solos, todos os materiais orgânicos estão sujeitos à decomposição que é controlada por vários fatores, como temperatura, umidade, composição química e bioquímica da fonte, fertilidade do solo, dentre outros (Swift et al., 1979). Não obstante, esse processo pode ser representado e examinado por esquemas e mecanismos que facilitam seu entendimento, os modelos matemáticos.

Nesse sentido, a utilização de modelos de simulação, os quais reúnem informações referentes às condições edafoclimáticas e composição do material, é indispensável para melhor compreender a dinâmica do processo de decomposição e liberação do N de materiais orgânicos utilizados na agricultura, transformando este conhecimento em informações úteis aos produtores (Whitmore & Handayanto, 1997). Com isso, essa ferramenta pode auxiliar na tomada de decisão quanto ao uso de materiais orgânicos (resíduos animais, vegetais e composto orgânico) em diferentes condições ambientais e, dessa forma, contribuir para o planejamento e gerenciamento das propriedades que utilizam essas alternativas.

Os modelos desenvolvidos para simular a dinâmica da matéria orgânica podem ser divididos em dois grupos (Fideling et al., 2007). No primeiro, estão inseridos os modelos desenhados para verificar o efeito a longo prazo do manejo dos materiais orgânicos sobre o estoque de C e N no solo: Century (Parton et al., 1987), GENDEC (Moorhead & Reynolds, 1991) e RothC. Um segundo grupo tem sido desenvolvido para simular em curto prazo a

decomposição de resíduos em superfície associado à dinâmica do C e N para cultivos de ciclo curto: NDICEA (Burgt et al., 2006), CERES-N (Quemada et al., 1997), STICS (Brisson et al., 1998), NCSOIL (Molina et al., 1983), PASTIS (Garnier et al., 2003), APSIM (Thorburn et al., 2001) e EXPERT-N (Berkenkamp et al., 2002).

Dessa forma, na hipótese que modelos são capazes de estimar com alto grau de acurácia a taxa de decomposição e a liberação do N para região tropical, este trabalho teve por objetivo avaliar a capacidade de modelos em estimar a taxa de decomposição e liberação do N de diferentes materiais orgânicos. Especificamente, pretendeu-se calibrar e validar os modelos NDICEA, Century e APSIM em diferentes condições climáticas e para materiais orgânicos de diversas origens.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A descrição dos locais de estudo deste trabalho e detalhes dos dados utilizados no processo de modelagem foram obtidos no trabalho de Matos (2005) e Chacón (2006), ambos realizados no Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

2.1. Descrição dos Locais e Materiais Orgânicos

2.1.1. Materiais Vegetais

Os experimentos de avaliação da taxa decomposição e liberação de N dos materiais vegetais foram realizados em propriedades rurais do município de Pedra Dourada e Araponga, ambas na Zona da Mata mineira. A propriedade do município de Pedra Dourada está localizada a 20° 50' sul e 42° 08' oeste, possuindo altitude de 690 m. O município de Araponga localiza-se a 20° 38' sul e 42° 32' oeste, com altitude de 790 m. As temperaturas mínimas e máximas médias mensais juntamente com a precipitação pluviométrica por 1 ano estão reunidas no Quadro 1.

Quadro 1 – Temperatura mínima e máxima média e precipitação pluviométrica mensal durante um ano nos municípios de Araponga e Pedra Dourada

Mês	Araponga			Pedra Dourada		
	Temperatura		Precipitação	Temperatura		Precipitação
	Mín.	Máx.		Mín.	Máx.	
	----- °C	-----	mm	----- °C	-----	mm
Janeiro	17,25	20,43	281,90	18,70	27,28	405,90
Fevereiro	15,54	26,10	27,90	18,70	27,55	388,40
Março	15,69	24,79	81,40	17,68	27,86	174,40
Abril	14,87	23,33	16,60	17,35	26,38	136,70
Mai	11,60	23,12	21,20	14,56	23,95	41,60
Junho	10,47	27,93	0,00	11,75	22,77	40,70
Julho	11,75	26,70	7,50	11,77	22,26	35,60
Agosto	10,47	26,41	51,30	11,45	25,19	0,20
Setembro	11,33	25,08	47,80	13,75	28,21	0,00
Outubro	15,72	28,06	27,80	16,70	26,59	66,20
Novembro	17,80	27,82	153,80	17,70	27,20	196,20
Dezembro	19,43	29,13	262,10	19,03	27,34	275,70

Fonte: Matos (2005).

Para a propriedade de Pedra Dourada foram utilizados dados das taxas de decomposição e liberação de N dos resíduos vegetais de *Arachis pintoi* (amendoim forrageiro), *Calopogonium mucunoides* (calapogônio), *Stizolobium aterrimum* (mucuna), *Stylozanthos guyanensis* (estilosantes), obtidos em experimento de 360 dias (Matos, 2005). Em Matos (2005), pela análise da decomposição, foi possível separar os resíduos em dois grupos, mais e menos resistente a decomposição, sendo representado por: calapogônio (mais resistente) e mucuna (menos resistente). Da mesma forma, foram utilizados dados da dinâmica dos resíduos de *Calopogonium mucunoides* (calopogônio), *Crotalaria juncea* (crotalária), *Brachiaria decumbens* (braquiária), *Stizolobium aterrimum* (mucuna), *Inga edulis* (ingá), *Leucaena leucocephala* (leucena), *Cajanus cajan* (guandu) e *Amaranthus spinosus* (caruru), para a propriedade do município de Araponga, durante 150 dias (Chacón, 2006). Chacón (2006) realizou testes de agrupamento de acordo com a composição química dos materiais vegetais, chegando: grupo 1 – calapogônio, caruru, crotalária, guandu e mucuna; grupo 2 – braquiária; grupo 3 – ingá e leucaena. Dessa forma, para a representação gráfica foi escolhido um material para representar o grupo, sendo: crotalária, braquiária e ingá.

As características químicas e bioquímicas de todos os materiais utilizados nos experimentos são apresentadas no Quadro 2. Ambos os experimentos utilizaram o método de sacolas de decomposição (litter bags) para estimar a perda de massa e liberação de N. Do material vegetal que foi submetido a decomposição foi retirada amostra no início (tempo zero) para realizar as análises químicas e bioquímicas, de forma a poder fazer a caracterização e os cálculos de perda de matéria seca e N remanescente. No experimento com duração de 360 dias (Pedra Dourada), as amostragens foram feitas aos 30, 60, 120, 240 e 360 dias após a instalação das sacolas no campo. No experimento com execução de 150 dias (Araponga) as amostragens foram realizadas aos 30, 60, 90, 120 e 150 dias após o início da decomposição no campo. Em cada amostragem, as sacolas de decomposição foram limpas e os materiais secos em estufa de circulação forçada de ar por 72 horas para determinação do peso seco. Em seguida, esses materiais foram moídos e submetidos às análises químicas. No experimento pelo período de 360 dias (Pedra Dourada; Matos, 2005), o método utilizado para determinação do N remanescente nos resíduos foi o de combustão seca, em analisador elementar (Perkin Elmer CHNS/O 2400). Para o experimento por 150 dias (Araponga; Chacón, 2006), foi determinado o N pelo método Kjeldahl (Bremner, 1996).

Quadro 2 - Composição química e bioquímica de materiais vegetais utilizados nas simulações (Matos, 2005; Chacón, 2006)

Material Vegetal	C	N	P	K	Ca	Mg	HEM	CEL	LIG	POL
----- dag kg ⁻¹ -----										
Araponga										
<i>C. mucunoides</i>	46,3	3,42	0,22	1,04	1,11	0,41	10,3	40,0	13,6	2,59
<i>C. juncea</i>	46,8	3,42	0,19	1,36	0,81	0,25	17,0	36,0	12,3	2,32
<i>B. decumbens</i>	42,2	1,78	0,18	1,03	0,60	0,66	26,2	38,5	7,80	1,83
<i>S. aterrimum</i>	43,1	2,87	0,19	1,04	1,09	0,19	18,2	36,7	12,3	1,98
<i>I. edulis</i>	46,3	3,24	0,20	1,14	0,52	0,19	15,0	29,6	24,0	5,13
<i>L. leucocephala</i>	44,3	4,51	0,21	1,57	1,54	0,31	14,4	27,0	26,9	6,98
<i>C. cajan</i>	48,0	3,71	0,29	1,50	0,68	0,18	11,3	39,0	18,4	4,35
<i>A. spinosus</i>	37,6	3,94	0,40	4,38	2,34	0,50	18,0	31,9	11,1	1,87
Pedra Dourada										
<i>A. pintoï</i>	42,7	2,72	0,27	2,26	1,09	0,50	12,1	31,2	7,8	1,68
<i>C. mucunoides</i>	44,1	3,52	0,30	2,1	0,83	0,20	16,6	26,7	9,0	1,30
<i>S. guianensis</i>	43,7	3,20	0,26	1,72	1,17	0,25	12,9	29,8	4,8	1,72
<i>S. aterrimum</i>	45,3	3,7	0,26	1,97	0,82	0,20	16,9	31,7	8,6	2,04

HEM = hemicelulose; CEL = celulose; LIG = lignina; POL = polifenóis totais solúveis.

2.1.2. Estercos

Chacón (2006) avaliou a perda de C e mineralização de N dos esterco de bovino, frango, suíno e coelho, coletados ao acaso nas unidades de produção do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa. As características químicas e bioquímicas dos esterco avaliados constam do Quadro 3. Após a caracterização química de cada material, o equivalente a dois gramas de C de cada esterco foi misturado a 100 gramas de solo seco, e acondicionado em potes plásticos cilíndricos. Durante o experimento, conduzido em condições de laboratório, a temperatura foi 25 ± 1 °C e a umidade de 80 % da capacidade de retenção de água do solo.

Quadro 3 – Composição química e bioquímica de esterco utilizados nas simulações (Chacón, 2006)

Componente	Bovino	Coelho	Galinha	Suíno
C (dag kg ⁻¹)	41,30	35,56	31,31	41,93
N (dag kg ⁻¹)	2,08	1,93	4,03	2,74
P (dag kg ⁻¹)	0,75	1,29	1,95	1,45
C/N	23,00	21,00	9,00	18,00
C/P	142,00	71,00	41,00	75,00
Cag (dag kg ⁻¹)	1,74	1,95	2,12	1,82
POL (dag kg ⁻¹)	1,45	0,81	5,52	1,68
CARB (dag kg ⁻¹)	0,15	0,19	0,34	0,21
BSA (µg mg ⁻¹)	20,34	8,17	15,33	31,89

Cag = carbono solúvel em água; POL = polifenóis totais solúveis; CARB = carboidratos totais solúveis; BSA = capacidade dos polifenóis em complexar proteínas.

Após 30 dias de incubação avaliou-se o C oxidado e, após 60 dias, a mineralização do N. Nas unidades experimentais foram colocados copos plásticos (50 cm³) onde o C-CO₂ respirado foi capturado em solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹, formando carbonatos com a adição de BaCl₂ 0,05 mol L⁻¹, e dosado por meio de titulação com HCl 0,25 mol L⁻¹. Nas amostras coletadas semanalmente foram determinados o N amoniacal e nítrico, extraídos pelo KCl 1 mol L⁻¹ e determinados por colorimetria. O N inorgânico foi obtido pela soma do N amoniacal com o N nítrico (Chacón, 2006).

2.1.3. Compostos

Os compostos avaliados foram provenientes de compostagem por 90 dias. Para a elaboração dos compostos foram misturadas porções iguais em massa dos seguintes constituintes: esterco de bovino com casca de café; mucilagem com chorume suíno e casca de café. Estes compostos foram avaliados em comparação a casca de café não composta e ao vermicomposto. A composição química e bioquímica desses materiais pode ser observada no Quadro 4. Os métodos utilizados para avaliação do C oxidado e mineralização do N são os mesmos abordados no tópico 2.1.2.

Quadro 4 – Composição química e bioquímica dos compostos orgânicos utilizados nas simulações (Chacón, 2006)

Componente	Esterco de bovino+casca de café	Casca de café	Mucilagem+chorume+casca de café	Vermicomposto
C (dag kg ⁻¹)	45,64	48,68	26,28	13,23
N (dag kg ⁻¹)	1,95	1,56	1,74	1,03
P (dag kg ⁻¹)	0,34	0,17	1,09	0,36
C/N	27	36	18	15
C/P	347	740	62	95
FDN (dag kg ⁻¹)	62	75,53	47,24	53,63
FDA (dag kg ⁻¹)	48,69	62,53	37,1	46,23
HEM (dag kg ⁻¹)	13,31	9,99	10,14	7,39
CEL (dag kg ⁻¹)	34,24	42,65	16,78	8,85
LIG (dag kg ⁻¹)	13,99	19,48	10,44	9,15
PB (dag kg ⁻¹)	12	6,01	14,14	8,16

FDN = fibra insolúvel em detergente neutro; FDA = fibra insolúvel em detergente ácido; HEM = hemicelulose; CEL = celulose; LIG = lignina; PB = proteína bruta.

2.2. Descrição dos Modelos

2.2.1. NDICEA

O modelo NDICEA (“Nitrogen Dynamics in Crop Rotations in Ecological Agriculture”) foi criado para simular a dinâmica da água no solo, assim como do carbono (C), matéria orgânica fresca e do solo, e de nitrogênio (N) orgânico e inorgânico sob sistemas de rotação de cultura (Burgt et al., 2006). Neste modelo a etapa de tempo é semanal, escala de kg ha⁻¹, e pode-se trabalhar com a camada de 0-5 cm. Contudo, neste trabalho serão apresentadas somente as bases de cálculo concernentes à decomposição dos materiais orgânicos e mineralização do N. Todos os dados e cálculos apresentados a seguir foram extraídos do manual do modelo e de Burgt et al. (2006).

Para o cálculo da taxa de decomposição do material orgânico (dMO ; em kg de MO por semana) o modelo assume:

$$dMO = (2,82 A_t^{1,6} MO f) / 52 \quad (1)$$

em que: A_t é a idade aparente; MO o material orgânico em kg; f aos fatores temperatura, umidade, proteção da matéria orgânica e pH. Essa equação é derivada da combinação das equações 2 e 3:

$$C_y = C_0 \exp(4,7 (A_y^{-0,6} - A_0^{-0,6})) \quad (2)$$

$$A_t = 1/52 f t + A_0 \quad (3)$$

Em que: C_y é o C remanescente depois da aplicação do carbono orgânico (C_0) no tempo $t = 0$; A_y a idade aparente do substrato orgânico no tempo y (em ano); A_0 a idade aparente no tempo de aplicação (em ano). A equação 2 foi proposta por Janssen (1984, 1996) para a dinâmica do carbono. A equação 3, que calcula a idade aparente do material orgânico, é descrita por Woli (2002, citado por Burgt et al., 2006). Neste modelo é introduzido o conceito de idade aparente ou idade inicial do material orgânico. Esse conceito corresponde à presença de constituintes do material orgânico com maior recalcitrância ou a maior resistência do material à decomposição, dessa forma, quanto mais o material orgânico conter compostos como lignina e polifenóis, maior será sua IA (*Initial Age*). Mais detalhes podem ser encontrados em Yang & Janssen (2002).

A correlação de fatores presentes em f que controla a taxa de decomposição é descrita na equação 4:

$$f = f_T f_\theta f_{\text{prot}} f_{\text{pH}} \quad (4)$$

em que: f_T = o fator temperatura; f_θ = o fator umidade; f_{prot} = o fator proteção e; f_{pH} = o fator pH. O efeito da temperatura (f_T) na taxa de decomposição é descrita pela modificação na equação proposta por Yang (1996), citado por Burgt et al. (2006), que foi baseada na temperatura média anual (T_a), levando em conta a temperatura média semanal T_{av} sobre a taxa de decomposição:

$$\begin{array}{ll} f_{\text{Yang}} = 0 & T_a \leq -1 \text{ }^\circ\text{C} \\ f_{\text{Yang}} = 0,09 (T_{\text{av}} + 1) & -1 < T_{\text{av}} \leq 9 \text{ }^\circ\text{C} \\ f_{\text{Yang}} = 0,88 2^{((T_{\text{av}} - 9)/9)} & 9 < T_{\text{av}} \leq 27 \text{ }^\circ\text{C} \\ f_{\text{Yang}} = 3,5 & T_{\text{av}} > 27 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \quad (5)$$

O efeito da umidade (f_θ) nesse processo é descrito por Rijtema (1980, citado por Burgt et al., 2006). Verifica-se que do pF 0 a 2,7 o fator de correlação é 1, havendo decréscimo linear para

0 entre $pF = 2,7$ e $pF = 4,2$. O pF corresponde ao logaritmo da tensão de umidade do solo expressa em cm de altura de coluna de água.

O fator capacidade de proteção (f_{prot}), que depende da textura, da estrutura e do conteúdo de matéria orgânica do solo.

O efeito do pH na taxa de decomposição é descrito partindo de várias pesquisas (Baht et al., 1980; Rijtema & Kroes, 1991) que indicaram a influência significativa do pH sobre esse processo, resultando assim a seguinte equação:

$$f_{pH} = 1 / (1 + \exp(-1,5 (pH - 4))) \quad (6)$$

Para o cálculo da liberação/mineralização do N (dMN ; $kg\ ha^{-1}\ semana^{-1}$) do material orgânico adicionado ao solo o modelo descreve pela seguinte equação:

$$dMN = ((1 + ad_{micro}) / (OM / NO) - ad_{micro} / (cn_{micro} / 0,58)) dOM \quad (7)$$

onde ad_{micro} é a relação assimilação/mineralização da matéria orgânica pelos microrganismos; NO o nitrogênio orgânico ($kg\ ha^{-1}$); cn_{micro} a relação C/N dos microrganismos. A título de esclarecimento, a dissimilação são os produtos da oxidação de compostos orgânicos (CO_2 e H_2O).

2.2.2. APSIM

O modelo “Agricultural Production Systems Simulator” (APSIM) foi criado pela necessidade de melhorar o planejamento e previsão da produção de culturas em diferentes condições de clima, genótipo, solo e fatores de manejo nas propriedades rurais da Austrália (Keating et al., 2003). Este modelo é constituído de 10 componentes que são detalhadamente abordados por Keating et al. (2003), sendo eles: cultivo anual, pastagem e floresta; balanço de água e movimento de solutos no solo; matéria orgânica do solo e nitrogênio; resíduos; fósforo; pH do solo; erosão; manejo; inter-cultivos/plantas espontâneas/sistemas em consórcio e; simulação de multipontos. Apesar de apresentar essa estruturação, este modelo tem evoluído, o que pode ser observado pela comparação das publicações anteriores com as mais recentes (Probert et al., 1998; Thorburn et al., 2001; Keating et al., 2003).

O APSIM-resíduo, que é descrito por Probert et al. (1998), trata o resíduo sobre a superfície do solo separadamente da matéria orgânica do solo e dos resíduos incorporados. Neste modelo há a possibilidade de se trabalhar com a camada de 0-15 cm, em escala de tempo mensal ou diária. A taxa de decomposição dos resíduos é controlada pela equação de primeiro grau:

$$dR/dt = - k R \quad (8)$$

em que: R é a massa do resíduo ou material orgânico por unidade de área (kg ha^{-1}); t o tempo; e k o coeficiente de decomposição dado por:

$$k = D_{\max} F_{C:N} F_{\text{temp}} F_{\text{umidade}} F_{\text{contato}} \quad (9)$$

em que: D_{\max} é a taxa de decomposição máxima ou potencial; $F_{C:N}$, F_{temp} , F_{umidade} e F_{contato} são fatores na escala de 0 a 1 que indicam o grau de limitação na decomposição imposta pela relação C/N do resíduo, temperatura, umidade e contato resíduo-solo, respectivamente (Thorburn et al., 2001). As definições dos fatores são expressas matematicamente (equações 10-13):

$$F_{C:N} = \exp(0,277 (1 - C/N / C/N_{\text{opt}})) \quad C/N > C/N_{\text{opt}} \quad (10)$$

$$F_{\text{temp}} = (T/T_{\text{opt}})^2 \quad T \leq T_{\text{opt}} \quad (11)$$

$$F_{\text{umidade}} = 1 - \sum E_{\text{os}}/E_{\text{os, max}} \quad \sum E_{\text{os}} < E_{\text{os, max}} \quad (12)$$

$$F_{\text{contato}} = 1 - ((1 - F_{\text{contato, min}})/R_{\max} - R_{\min})(R - R_{\min}) \quad R_{\min} < R \leq R_{\max} \quad (13)$$

em que: T é a temperatura média do ar diária ($^{\circ}\text{C}$); E_{os} o potencial de evaporação diário de água do solo (mm); R_{\min} a massa do resíduo acima da qual a taxa de decomposição é reduzida (kg ha^{-1}); R_{\max} a massa do resíduo acima da qual a taxa de decomposição é independente da massa (kg ha^{-1}); e o subscrito “opt” e “max” corresponde ao ótimo e máximo valor do parâmetro, respectivamente. Com exceção do $F_{\text{contato, min}}$ que varia de 1 a 0,46, os demais fatores variam de 0 a 1.

Na busca para melhorar a acurácia do APSIM em estimar a taxa de decomposição dos materiais orgânicos, Thorburn et al. (2001) propuseram a mudança do fator contato, que foi incorporado ao modelo. Estes autores indicaram a substituição da equação 13 pela equação 14, sendo:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{contato2}} &= R_{\text{crit}}/R & R > R_{\text{crit}} \\
 F_{\text{contato2}} &= 1 & R \leq R_{\text{crit}}
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

em que: R_{crit} é a quantidade de resíduo (kg ha^{-1}) que pertence a camada ativa de decomposição, que possui condições mais propícias para a atividade biológica. Há a dificuldade em estimar este parâmetro, podendo ser específico para cada material, entretanto, é sugerido que o R_{crit} seja parametrizado entre 1 e 3 t ha^{-1} .

Por meio dessas equações é possível estabelecer gráficos que permitem a melhor compreensão de como esses fatores influenciam na taxa de decomposição dos resíduos (Figura 1).

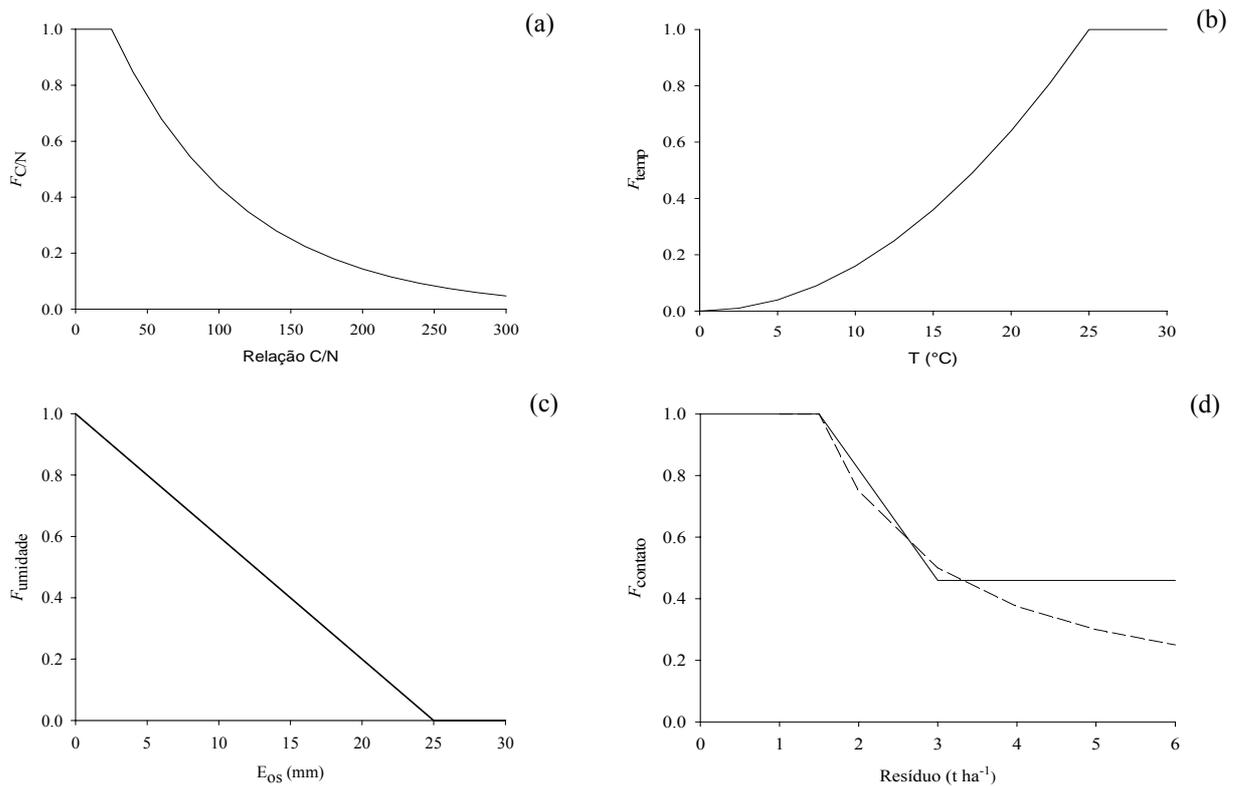


Figura 1 – Função padrão dos fatores que limitam a decomposição de resíduos no APSIM-resíduo devido a: (a) relação C/N inicial do resíduo (relação $C/N_{\text{opt}} = 25$); (b) temperatura ($T_{\text{opt}} = 25 \text{ }^\circ\text{C}$); (c) umidade ($E_{\text{os,max}} = 25 \text{ mm}$); (d) contato resíduo-solo ($R_{\text{min}} = 1,5 \text{ t ha}^{-1}$, $R_{\text{max}} = 3 \text{ t ha}^{-1}$ e $F_{\text{contato, min}} = 0,46$) (Thorburn et al., 2001). Linha pontilhada no gráfico (d) corresponde ao fator contato proposto por Thorburn et al. (2001) que foi incorporado ao modelo (equação 14).

No APSIM, a descrição da mineralização de N é feita pela equação (15) proposta por Whitmore & Handayanto (1997):

$$N_{\text{mineralizado}} = C_{\text{decomposto}} (1/Z - E/Y) \quad (15)$$

em que: Z é a relação C/N do substrato em decomposição; E é o fator de eficiência microbiológica, que é fixada pelo modelo em 0,4; e Y é a relação C/N da matéria orgânica que está sendo formada. Esta matéria orgânica corresponde ao produto final do processo de decomposição, onde Whitmore & Handayanto (1997) definiram que como húmus, possuindo relação C/N em torno de 10.

2.2.3. Century

Apesar de ter sido criado para simular a dinâmica de matéria orgânica dos solos sob pastagens naturais das planícies norte-americanas, o Century vem sendo utilizado com sucesso para as condições tropicais (Leite, 2002; Mendonça & Stott, 2003; Leite & Mendonça, 2003; Cerri et al., 2004; Leite et al., 2004a; Leite et al., 2004b; Galdos, 2007; Leite & Mendonça, 2007).

O Century é dividido em três submodelos: o submodelo de água, o submodelo de produção vegetal e o submodelo de dinâmica de matéria orgânica. O submodelo que descreve a dinâmica de matéria orgânica do solo é dividido em cinco compartimentos, sendo três referentes à matéria orgânica do solo e dois referentes aos resíduos vegetais (Metherell et al., 1993). Os resíduos vegetais são divididos em compartimento estrutural (resistente a decomposição) e metabólico (rapidamente decomponível) (Parton et al., 1994a, b). O compartimento estrutural compreende o material que tem tempo de reciclagem de 1 a 5 anos e o compartimento metabólico é o material que possui tempo de reciclagem de 0,1 a 1 ano, ou seja, que é decomposto rapidamente, sofrendo prontamente a ação dos microrganismos (Parton et al., 1994a, b; Leite & Mendonça, 2007). O Century trabalha em escala de metro quadrado e simula a camada superficial (0-20 cm), com etapa de tempo mensal.

Para a taxa de decomposição dos resíduos em superfície, este modelo possui uma equação para cada compartimento (metabólico, equação 16, e estrutural, equação 17):

$$dC_I/dt = K_I A C_I \quad (16)$$

$$dC_I/dt = K_I L_c A C_I \quad (17)$$

em que: K_I é a taxa de decomposição máxima para o compartimento; C_I é a quantidade de C no compartimento; A é o efeito combinado da umidade e temperatura; L_c é o impacto do teor de lignina sobre a taxa de decomposição, que é calculada pela equação 18:

$$L_c = e^{(-3 \times L_s)} \quad (18)$$

em que: L_s é o conteúdo de material estrutural.

A influência da temperatura (t_1 e t_2) e umidade sobre a taxa de decomposição pode ser exemplificada matematicamente (equações 19-23) e graficamente (Figura 2). Sendo:

$$t_1 = (45 - T_s)/(45 - 35) \quad (19)$$

$$t_2 = e^{(0,076 (1 - e^{(\ln(t_1) 2,63)})} \quad (20)$$

$$A_t = e^{(\ln(t_1) 0,2)} t_2 \quad (21)$$

$$A_w = ((1 / (1 + 30 e^{(-8,5 \text{ RAT})})) \quad (22)$$

Se $\text{RAT} > 1,5$

$$A_w = 1 - 0,7 (\text{RAT} - 1,5) / 1,5 \quad (23)$$

em que: T_s é a temperatura média do solo (°C); A_t o efeito da temperatura; A_w o efeito da umidade; RAT é razão entre a água armazenada (profundidade de 0-30 cm) mais a precipitação mensal (cm) e potencial de evapotranspiração (cm).

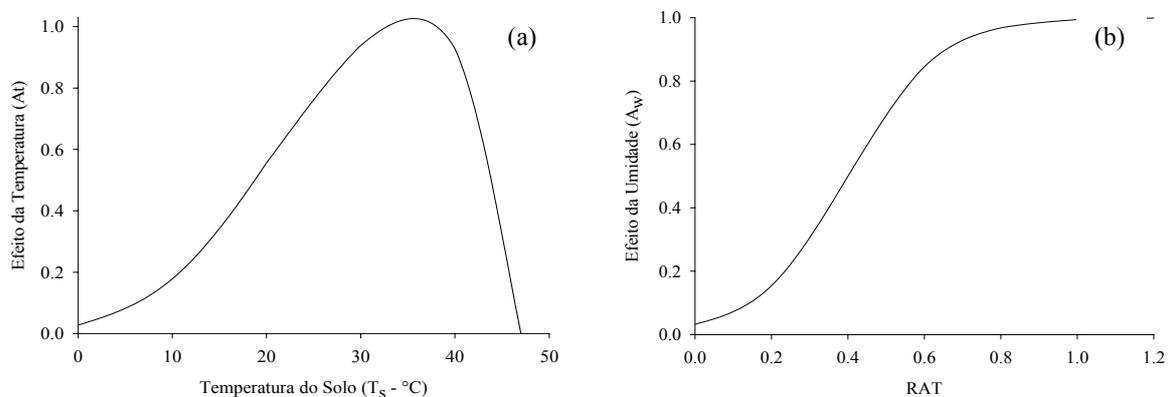


Figura 2 – Efeito da temperatura (a) e umidade (b) sobre a taxa de decomposição (Parton et al., 1994).

Todas essas equações e pressupostos podem ser encontrados com mais detalhes em Parton et al. (1994a, b), Leite e Mendonça (2003) e Leite e Mendonça (2007).

2.3. Parametrização e Calibração dos Modelos

Considerou-se a aplicação dos materiais orgânicos na superfície do solo. Dessa forma, foi utilizada a variável de entrada dos modelos que considerasse tal característica. No NDICEA utilizou-se como variável de entrada da quantidade e características dos materiais orgânicos a “matéria orgânica nova” (*fresh organic matter*). No Century, há vários caminhos de entrada dos materiais orgânicos, contudo, foi criado um cenário onde os resíduos foram adicionados em superfície (CLITTR no site.100). No APSIM utilizou-se o módulo resíduo que considera os resíduos aplicados em superfície.

Os principais dados de entrada de cada modelo foram: NDICEA – temperatura, precipitação, textura e pH do solo, quantidade de material orgânico com seu teor de N; APSIM - temperatura, precipitação, fator contato, quantidade de material orgânico com sua relação C/N; Century - temperatura, precipitação, quantidade de material orgânico com seu teor de lignina e relação C/N.

Dessa forma, depois dos modelos parametrizados com essas variáveis, foi realizada sua calibração, tendo em vista buscar uma similaridade entre os dados observados e simulados pela

variação de um parâmetro interno. A calibração do NDICEA foi realizada pela variável idade inicial (*Initial Age*) do material (equação 1 e 3), que tem relação direta com sua composição química e bioquímica, indicando assim a velocidade com que os materiais orgânicos são decompostos (Yang & Janssen, 2002); no APSIM, a calibração foi feita pela variável denominada “potencial de decomposição” (equação 9), quanto maior, maior será a velocidade de decomposição dos materiais orgânicos; para o Century, a calibração se restringiu ao DEC1 (1) e DEC2 (1), variáveis referentes a velocidade de decomposição do material estrutural e metabólico dos resíduos, respectivamente (equação 16 e 17). A calibração dos modelos se restringiu a essas variáveis por controlarem a decomposição dos materiais orgânicos, que é diferenciada das condições que os modelos foram idealizados. As demais variáveis de entrada dos modelos não foram modificadas na calibração, pois são características ligadas ao ambiente ou ao material vegetal (como temperatura, umidade, relação C/N, etc.), parametrizadas com as condições que foram estabelecidas para simulação dos modelos.

2.4. Análise de Sensibilidade

Addiscott (1993) sugere que se analise a sensibilidade de um modelo mudando o parâmetro a ser testado em porcentagem (10, 20 ou 30 %), observando assim o resultado de saída. No entanto, no presente trabalho a análise de sensibilidade não foi realizada desta maneira, por representar mudança pequena em valores absolutos, tendo pouco reflexo sobre os resultados de saída. Assim, desde que encontrada a calibração “adequada” para descrever o processo, foi mantida essa calibração e realizadas mudanças nos valores da relação C/N (em torno de 30, 50 e 100, partindo da relação C/N real – exemplo – relação C/N de 15, foram testados 35, 55 e 105, além de ser testado o menor valor dessa relação, 5) dos materiais vegetais no Century e APSIM. No NDICEA foi efetuada essa mudança no teor de N em duas unidades para cima e para baixo do valor observado. Essas modificações foram avaliadas observando qual a influência dessas nos resultados de saída (decomposição e liberação de N).

2.5. Validação

Na tentativa de validação dos modelos por meio da utilização de dados independentes, de uma localidade com características experimentais diferentes, principalmente climáticas, foi utilizado o trabalho de Espindola et al. (2006). Este trabalho foi desenvolvido em Seropédica – RJ, com quatro materiais vegetais: amendoim forrageiro (*Arachis pinto*), cudzu tropical (*Pueraria phaseoloides*), siratro (*Macroptilium atropurpureum*) e vegetação espontânea com predomínio de capim colonião (*Panicum maximum*). Foram avaliadas a matéria seca remanescente e liberação de N durante 150 dias na estação seca e 150 dias na estação chuvosa, utilizando-se de sacolas de decomposição. As características químicas e bioquímicas desses materiais vegetais são apresentadas no Quadro 5. No final de cada período estes autores calcularam a constante k e tempo de meia vida da matéria seca e do N utilizando as equações 23 e 25. Juntamente com a validação, também foi avaliada a capacidade das equações sugeridas neste trabalho em estimar os IAs (*Initial Age* – parâmetro que está diretamente ligado a composição química, que controla velocidade de decomposição) desses materiais no NDICEA.

Quadro 5 - Composição química e bioquímica dos materiais orgânicos vegetais utilizados nos testes de validação (Espindola et al., 2006)

Material Vegetal	C	N	C/N	POL	CEL	HEM	LIG
	---- dag kg ⁻¹ ----			----- dag kg ⁻¹ -----			
Estação Seca							
Amendoim forrageiro	45,9	2,9	16,1	1,6	15,2	9,1	12,0
Cudzu	47,8	2,5	19,2	2,1	20,7	14,9	8,8
Siratro	47,2	2,1	22,7	1,4	26,9	14,5	12,7
Plantas Espontâneas	45,9	1,1	43,9	1,3	29,7	22,8	8,8
Estação Chuvosa							
Amendoim forrageiro	48,4	2,4	20,5	3,3	14,7	14,7	11,1
Cudzu	50,7	2,4	21,6	1,8	25,4	12,7	12,2
Siratro	49,5	2,5	20,6	2,0	23,9	9,7	11,0
Plantas Espontâneas	49,2	0,6	79,3	1,3	31,1	29,8	8,0

POL = polifenóis totais solúveis; CEL = celulose; HEM = hemicelulose; LIG = lignina.

Foi mantida a calibração dos parâmetros estabelecidos para os materiais anteriormente testados durante os 150 dias (Araponga), e adicionadas às características climáticas, dos materiais vegetais e do solo de Seropédica. Com isso, foi possível testar a capacidade preditiva dos

modelos do comportamento da matéria seca e da liberação do N para condições climáticas tropicais contrastantes.

2.6. Análise Estatística

2.6.1. Materiais Vegetais

Para testar se o modelo simulou satisfatoriamente a taxa de decomposição e liberação de N, foram plotados, em função do tempo, os pontos observados (medidos), com respectivos intervalos de confiança, e o simulado pelos modelos. Dessa forma, quando os modelos simularam dentro desse intervalo foram considerados satisfatórios em estimar a cinética da variável em questão.

Foram ajustadas equações de regressão lineares dos dados observados em função dos simulados pelos modelos para cada material, e verificado estatisticamente se o intercepto (a) difere de zero e a inclinação (b) difere de um, calculado pelo intervalo de confiança de cada componente da equação a 95 % de probabilidade. Se o intercepto, a inclinação ou ambos os componentes das equações ajustadas diferirem do ideal (zero e um, respectivamente), significa que os modelos não simularam com acurácia a taxa de decomposição ou liberação de N dos materiais vegetais.

Ainda foi calculada a constante k (equação 24) para os dados simulados, à título de comparação com os dados observados. Para isso utilizou-se a equação em que:

$$X = X_0 e^{(-k \times t)} \quad (24)$$

em que: X é a quantidade de matéria seca ou de N mineralizado após um período de tempo, t ; e X_0 é a quantidade inicial de matéria seca ou de N no material orgânico. Reorganizando os termos da equação 24 é possível calcular a constante k . Dessa forma tem-se:

$$k = \ln (X / X_0) / t \quad (25)$$

Outra característica útil na avaliação do melhor modelo de simulação é comparando o tempo de meia vida entre o simulado e observado, que expressa o período de tempo necessário

para que metade dos resíduos se decomponha ou para que metade do N contido nesse resíduo seja liberada. É possível calcular os tempos de meia vida pela equação:

$$t_{1/2} = \ln(2) / k \quad (26)$$

em que $t_{1/2}$ é o tempo de meia vida de matéria seca ou nutriente, $\ln(2)$ é um valor constante e k é a constante de decomposição descrita anteriormente (Rezende et al., 1999).

2.6.2. Estercos e Compostos

Não foram realizadas análises estatísticas específicas para a taxa de decomposição e mineralização do N dos esterco e compostos, mas sim, feita a comparação do modelo que estimou mais próximo dos dados medidos.

3. RESULTADOS

3.1. Materiais Vegetais

3.1.1. Araponga (150 dias)

O Century e o APSIM na ausência da calibração superestimaram a taxa de decomposição e liberação de N de todos os materiais vegetais (Figura 3 e 4). No NDICEA isto foi observado para materiais mais resistentes à decomposição (ingá), para grande parte dos materiais (calapogônio, caruru, crotalária, guandu e mucuna) este modelo subestimou tanto a decomposição quanto a liberação de N. Dessa forma, para obter maior grau de acurácia dos modelos em estimar a taxa de decomposição e liberação de N dos materiais vegetais para as condições estabelecidas, as variáveis que controlam estes processos foram calibradas (Quadro 6).

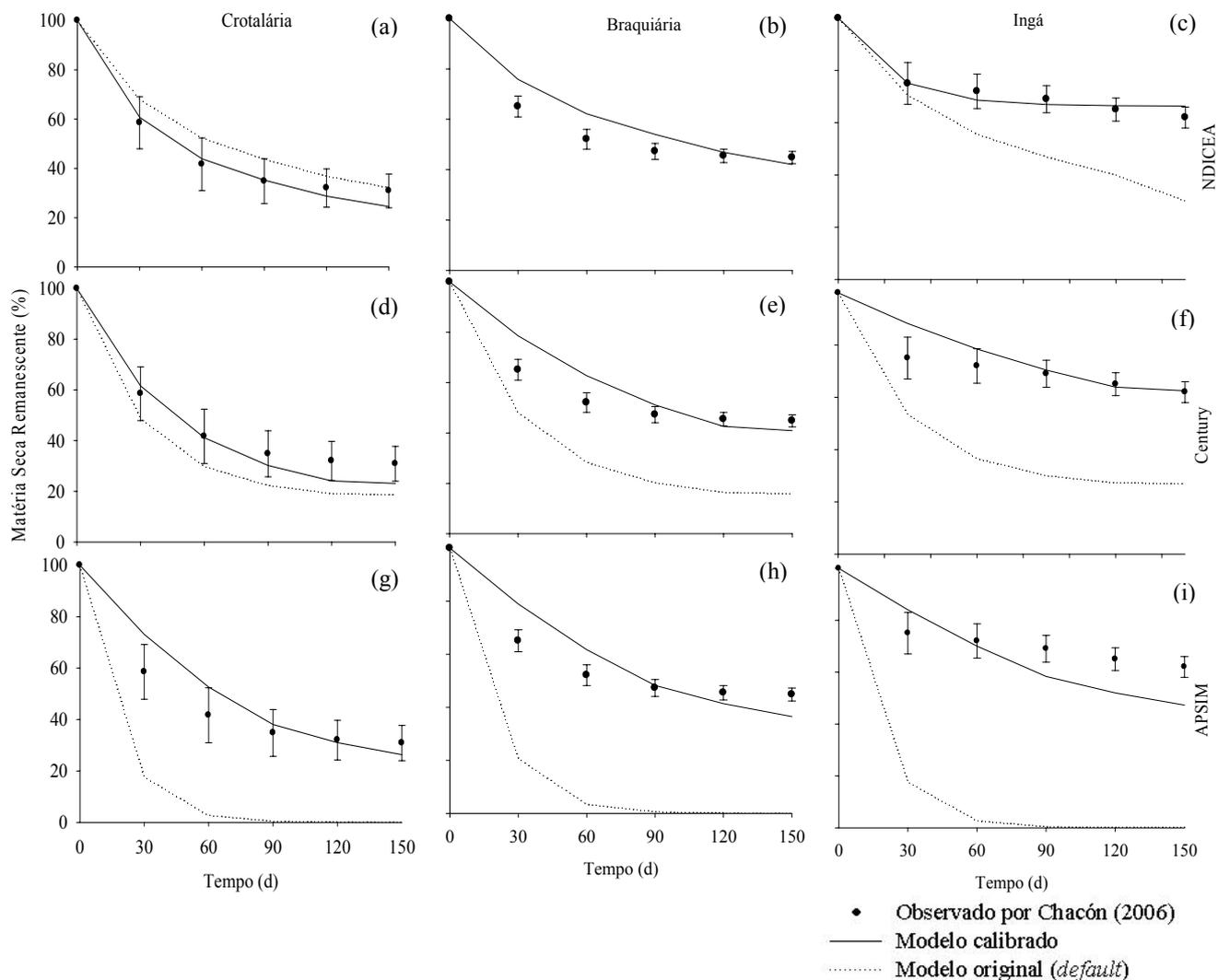


Figura 3 – Matéria seca remanescente medida (pontos) e simulada pelo modelo NDICEA, Century e APSIM calibrados (linha cheia) e não calibrados (linha pontilhada) durante 150 dias de decomposição dos resíduos de crotalária, braquiária e ingá. As barras nos pontos correspondem ao intervalo de confiança da média observada.

A calibração para decomposição no Century e APSIM foi realizada de modo a desacelerar o processo em relação ao modelo original em todos os materiais vegetais. No NDICEA, com exceção do ingá, braquiária e leucaena, que são mais resistentes a decomposição, nos demais materiais o modelo foi calibrado de modo a acelerar a decomposição. Nos materiais de calapogônio, caruru, crotalária, guandu e mucuna a calibração para decomposição foi a mesma no APSIM e no Century. Foram também iguais para a braquiária e leucaena. O que não ocorreu no NDICEA.

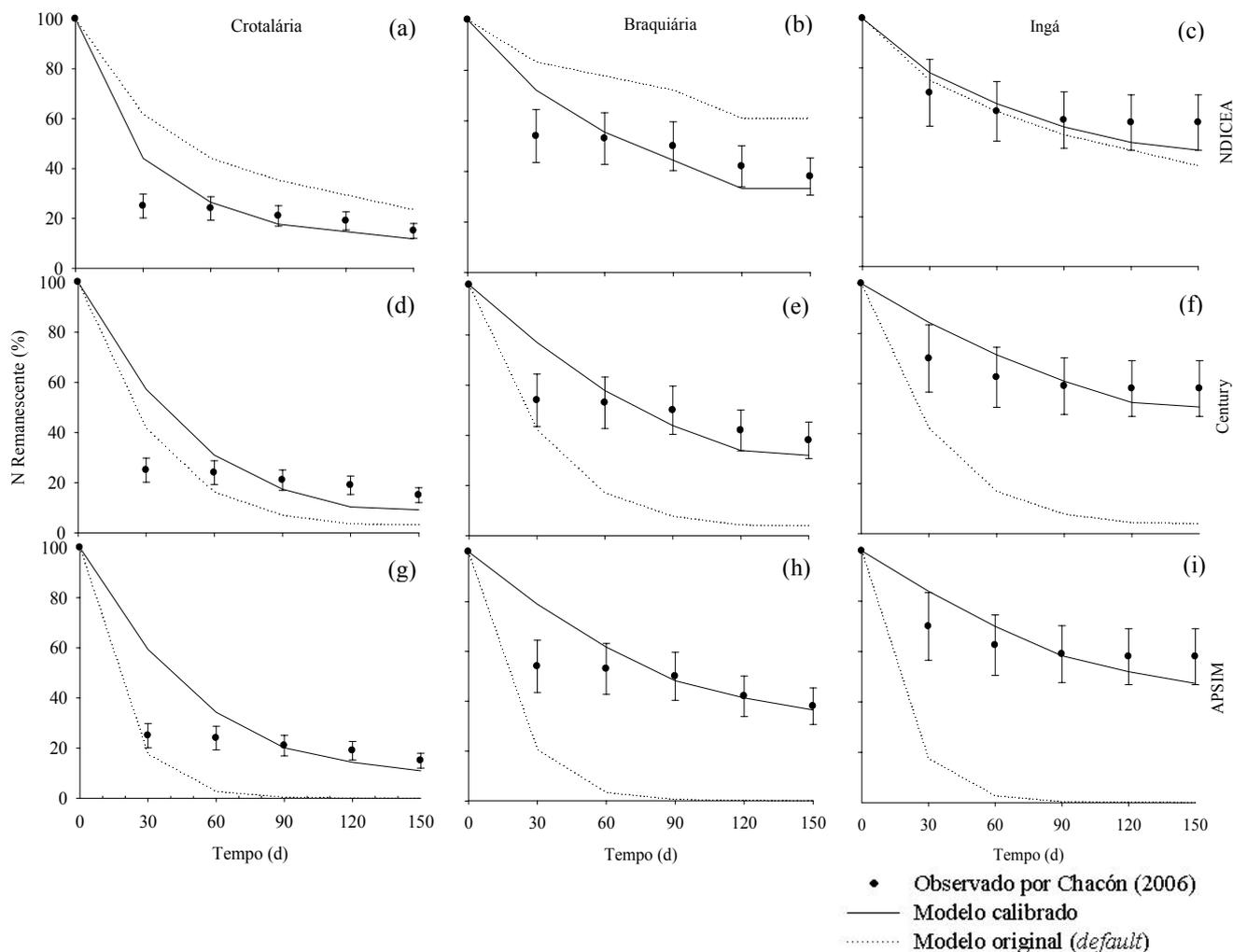


Figura 4 – N remanescente observado (pontos) e simulado pelo modelo NDICEA, Century e APSIM calibrados (linha cheia) e não calibrados (linha pontilhada) durante 150 dias de decomposição dos resíduos de crotalária, braquiária e ingá. As barras nos pontos correspondem ao intervalo de confiança da média observada.

No NDICEA a calibração foi realizada de acordo com as características de cada resíduo. Dessa forma, pela correlação dos IAs com a composição química dos materiais vegetais foi possível identificar a característica que está mais relacionada com esta variável (IA). A maior correlação ($P < 0,05$) do IA foi obtida com a capacidade dos polifenóis em complexar proteínas ($r = 0,8802$), com a relação lignina/N (0,8751) e lignina+polifenóis/N (0,8685). Assim, foi elaborada a equação 27 que pode ser utilizada para estimar os IAs, sendo:

$$IA = 0,297762 + 0,130193 \text{ LN} \quad r^2 = 0,7666 \quad (27)$$

em que: LN é a relação lignina/N.

Quadro 6 – Variável que controla a taxa de decomposição nos modelos em seu valor original (*default*) e calibrada para os diferentes materiais vegetais aos 150 de decomposição no município de Araponga

Material Vegetal	Modelo						Original	Calibrado
	NDICEA		Century		APSIM			
	Original	Calibrado	Original	Calibrado	Original	Calibrado		
		dec 1 ^a	dec 2 ^b	dec 1	dec 2			
Decomposição								
Braquiária	0,99	0,99	3,9	14,8	1,9	4,8	0,100	0,014
Calapogônio	0,99	0,74	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,018
Caruru	0,99	0,74	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,018
Crotalária	0,99	0,84	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,018
Guandu	0,99	0,84	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,018
Ingá	0,99	1,41	3,9	14,8	1,9	2,8	0,100	0,010
Leucaena	0,99	0,99	3,9	14,8	1,9	4,8	0,100	0,014
Mucuna	0,99	0,74	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,018
Liberação de N								
Braquiária	0,99	0,590	3,9	14,8	1,9	4,8	0,100	0,014
Calapogônio	0,99	0,440	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,030
Caruru	0,99	0,440	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,030
Crotalária	0,99	0,540	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,030
Guandu	0,99	0,540	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,030
Ingá	0,99	1,070	3,9	14,8	1,9	2,8	0,100	0,010
Leucaena	0,99	0,990	3,9	14,8	1,9	4,8	0,100	0,014
Mucuna	0,99	0,740	3,9	14,8	3,9	9,8	0,100	0,018

^a: correspondente a decomposição do compartimento estrutural do material orgânico. ^b: correspondente a decomposição do compartimento metabólicos do material orgânico.

Para descrever a liberação do N dos resíduos de braquiária, calapogônio, caruru, crotalária, guandu e ingá, onde a taxa de liberação de N foi ligeiramente maior que a decomposição, a calibração do NDICEA foi 0,3, menor que a calibração realizada para a decomposição (Quadro 6). A calibração do APSIM, para esses mesmos materiais, com exceção do ingá e braquiária, foi 0,012, maior que a calibração realizada no parâmetro que controla a decomposição. No Century, por conciliar a taxa de decomposição juntamente com a liberação de N dos materiais, a calibração para descrever esses dois processos foi a mesma.

Depois de calibrados os modelos aumentaram o grau de acurácia na descrição da decomposição e liberação de N dos materiais vegetais (Figura 3 e 4). Em linhas gerais, o

NDICEA foi o modelo que melhor descreveu estes dois processos, por simular a dinâmica de decomposição e liberação de N com maior frequência dentro do intervalo de confiança da média observada (Figura 3 e 4 a; b; c) e, principalmente, pelas equações ajustadas dos valores medidos em função dos simulados, para estes dois processos, que não diferirem do ideal (Quadro 7).

Quadro 7 – Equação de regressão linear da taxa de decomposição e liberação de N observada (\hat{y}) nos materiais vegetais em função dos dados simulados (x) pelo NDICEA, Century e APSIM, sob 150 dias de decomposição no município de Araponga

Material Vegetal	Equação Decomposição	R ²	Equação Liberação de N	R ²
NDICEA				
Braquiária	$\hat{y} = -1,858 + 0,960x$	0,932	$\hat{y} = 10,782 + 0,803x$	0,866
Calapogônio	$\hat{y} = 4,427 + 0,904x$	0,951	$\hat{y} = 8,732 + 0,863x$	0,944
Caruru	$\hat{y} = -1,303 + 0,941x$	0,918	$\hat{y} = 0,532 + 0,957x$	0,957
Crotalária	$\hat{y} = 3,656 + 0,942x$	0,988	$\hat{y} = 0,538 + 0,935x$	0,930
Guandu	$\hat{y} = 3,778 + 0,877x$	0,875	$\hat{y} = 4,384 + 0,915x$	0,962
Ingá	$\hat{y} = -1,081 + 1,013x$	0,960	$\hat{y} = 17,047 + 0,769x$	0,892
Leucaena	$\hat{y} = 0,229 + 0,914x$	0,879	$\hat{y} = 15,658 + 0,772x$	0,884
Mucuna	$\hat{y} = 7,294 + 0,861x$	0,920	$\hat{y} = -1,655 + 0,983x$	0,983
Century				
Braquiária	$\hat{y} = 3,840 + 0,882x$	0,903	$\hat{y} = 12,820 + 0,754x$	0,814
Calapogônio	$\hat{y} = 8,718 + 0,859x$	0,953	$\hat{y} = 7,683 + 0,793x$	0,831
Caruru	$\hat{y} = 1,678 + 0,890x$	0,887	$\hat{y} = -2,780 + 0,894x$	0,834
Crotalária	$\hat{y} = \mathbf{8,070} + 0,890x$	0,987	$\hat{y} = 2,816 + 0,831x$	0,819
Guandu	$\hat{y} = 7,726 + 0,836x$	0,865	$\hat{y} = 9,356 + 0,818x$	0,904
Ingá	$\hat{y} = 7,354 + 0,861x$	0,861	$\hat{y} = 14,550 + 0,763x$	0,816
Leucaena	$\hat{y} = \mathbf{9,942} + 0,837x$	0,918	$\hat{y} = \mathbf{43,236} + \mathbf{0,520}x$	0,925
Mucuna	$\hat{y} = 7,714 + 0,838x$	0,888	$\hat{y} = \mathbf{22,564} + \mathbf{0,737}x$	0,975
APSIM				
Braquiária	$\hat{y} = 8,758 + 0,824x$	0,888	$\hat{y} = 5,725 + 0,825x$	0,814
Calapogônio	$\hat{y} = 3,751 + 0,852x$	0,871	$\hat{y} = 5,066 + 0,814x$	0,823
Caruru	$\hat{y} = -6,290 + 0,905x$	0,794	$\hat{y} = -6,859 + 0,904x$	0,793
Crotalária	$\hat{y} = 1,036 + 0,908x$	0,932	$\hat{y} = -0,011 + 0,853x$	0,812
Guandu	$\hat{y} = 6,839 + 0,784x$	0,766	$\hat{y} = 6,056 + 0,826x$	0,872
Ingá	$\hat{y} = \mathbf{31,021} + \mathbf{0,624}x$	0,862	$\hat{y} = 17,976 + 0,728x$	0,815
Leucaena	$\hat{y} = 2,999 + 0,834x$	0,785	$\hat{y} = 20,357 + 0,691x$	0,810
Mucuna	$\hat{y} = 2,727 + 0,829x$	0,795	$\hat{y} = 2,412 + 0,895x$	0,926

Valores dos componentes da equação ajustada, intercepto ou inclinação, em negrito diferem estatisticamente de 0 e 1, respectivamente, à 95 % de probabilidade.

Para crotalária (Figura 3 a), que é representante das leguminosas herbáceas, o NDICEA foi o modelo que simulou a decomposição com mais frequência dentro do intervalo de confiança do observado. Para os resíduos de braquiária (Figura 3 b; e; h), todos os modelos não tiveram o

mesmo desempenho que para crotalária, o que em parte se deve ao baixo intervalo de confiança da média observada e em parte pela sua constituição química. Para o ingá, que é um material mais resistente a decomposição, o NDICEA e Century (Figura 3 c; f) estimaram a taxa de decomposição com mais frequência dentro do intervalo de confiança do observado em relação ao APSIM.

Apesar de ser um modelo criado para simulação de médio a longo prazo, o Century apresentou alto grau de acurácia, tendo em vista que são condições de campo. Este modelo, com frequência, apresentou coerência com o intervalo de confiança da média observada (Figura 3 e 4). Para decomposição, somente os interceptos das equações ajustadas para crotalária e leucaena diferiram de zero e, para liberação de N, as equações ajustadas para os resíduos de leucaena e mucuna diferiram do ideal.

No APSIM, o intercepto e a inclinação da equação ajustada para o resíduo de ingá durante a decomposição diferiu de zero e um, respectivamente. Na liberação de N, as equações ajustadas para todos os materiais vegetais não diferiram do ideal, mostrando bom grau de acurácia deste modelo.

No tempo de meia vida, observa-se que o APSIM, apesar de ter apresentado o menor grau de acurácia na dinâmica de decomposição, foi o modelo que apresentou menor desvio nesta estimativa na grande maioria dos materiais, sendo: braquiária, calapogônio, caruru, crotalária, leucaena e mucuna (Quadro 8). Não obstante, é importante ressaltar o bom desempenho dos demais modelos em estimar o tempo de meia vida. Para o resíduo de calapogônio, por exemplo, enquanto o APSIM simulou a meia vida com desvio em torno de 18 % da medida, o NDICEA e o Century desviaram 21,2 e 23,7 %, respectivamente. O Century simulou com menor desvio o tempo de meia vida para o ingá e o NDICEA para o guandu.

Na liberação de N o NDICEA estimou o tempo de meia vida com menor desvio nos resíduos de crotalária, guandu, leucaena e mucuna (Quadro 8). O APSIM na braquiária, calapogônio e caruru e, o Century, o menor desvio foi observado para o resíduo de ingá. É importante frisar que algumas vezes, como exemplo para estimativa do tempo de meia vida da liberação de N do resíduo de braquiária, enquanto a estimativa feita pelo APSIM desviou do observado 4,0 %, o NDICEA e Century estimaram com desvio de 11,9 e 15,1 %, respectivamente, sendo esses valores excelentes, tendo em vista que são valores estimados de experimento de campo.

Quadro 8 – Estimativa da constante k e tempo de meia vida observada da matéria seca e liberação do N e simulada pelo modelo NDICEA, Century e APSIM para os materiais vegetais sob 150 dias de decomposição no município de Araponga

Material		Modelo			
		Observado	NDICEA	Century	APSIM
Decomposição					
Braquiária	k (d ⁻¹)	0,002281	0,002410	0,002482	0,002801
	Meia vida ^a (d)	246,7	287,6	279,2	247,4
Calapogônio	k (d ⁻¹)	0,003023	0,003840	0,003961	0,003706
	Meia vida (d)	229,2	180,5	175,0	187,0
Caruru	k (d ⁻¹)	0,00381	0,004283	0,004285	0,003706
	Meia vida (d)	181,9	161,8	161,7	187,0
Crotalária	k (d ⁻¹)	0,003344	0,003907	0,004068	0,003706
	Meia vida (d)	207,2	177,4	170,4	187,0
Guandu	k (d ⁻¹)	0,002824	0,003617	0,003646	0,003706
	Meia vida (d)	245,4	191,6	190,0	187,0
Ingá	k (d ⁻¹)	0,001138	0,001785	0,001306	0,002079
	Meia vida (d)	609,0	388,3	530,8	333,3
Leucaena	k (d ⁻¹)	0,002545	0,002900	0,003279	0,002894
	Meia vida (d)	272,3	238,9	211,4	239,4
Mucuna	k (d ⁻¹)	0,003344	0,004283	0,004029	0,003706
	Meia vida (d)	207,2	161,8	172,0	187,0
Liberação de N					
Braquiária	k (d ⁻¹)	0,002688	0,003052	0,003166	0,002801
	Meia vida ^a (d)	257,8	227,1	218,9	247,4
Calapogônio	k (d ⁻¹)	0,004335	0,006744	0,006600	0,006134
	Meia vida (d)	159,9	102,8	105,0	113,0
Caruru	k (d ⁻¹)	0,006396	0,007125	0,006960	0,006134
	Meia vida (d)	108,3	97,3	99,6	113,0
Crotalária	k (d ⁻¹)	0,005270	0,005945	0,006622	0,006134
	Meia vida (d)	131,5	116,6	104,7	113,0
Guandu	k (d ⁻¹)	0,004335	0,005560	0,006737	0,006134
	Meia vida (d)	159,9	124,6	102,9	113,0
Ingá	k (d ⁻¹)	0,001513	0,002105	0,001893	0,002079
	Meia vida (d)	458,0	329,3	366,2	333,3
Leucaena	k (d ⁻¹)	0,001982	0,002704	0,006794	0,002894
	Meia vida (d)	349,7	256,3	102,0	239,4
Mucuna	k (d ⁻¹)	0,003253	0,003577	0,006566	0,003705
	Meia vida (d)	213,0	193,7	105,5	187,0

^aTempo estimado para que 50 % do material seja decomposto. Valor em negrito de meia vida simulada que apresenta menor desvio em relação ao observado.

Nas ferramentas utilizadas para identificar o modelo com maior grau de acurácia, o APSIM apresentou desempenho inferior aos demais modelos para os materiais que possuíram maior teor de constituintes resistentes à decomposição, mas com relação C/N baixa.

3.1.2. Pedra Dourada (360 dias)

O Century e APSIM, na ausência da calibração, superestimaram a taxa de decomposição e liberação de N em todos os materiais vegetais (Figura 5 e 6). No NDICEA, isto ocorreu para os resíduos do calapogônio e mucuna. Assim, as variáveis que controlam a decomposição nos modelos foram ajustadas para melhorar o grau de acurácia em estimar a decomposição e liberação de N dos materiais durante 360 dias em condições tropicais de campo (Quadro 9).

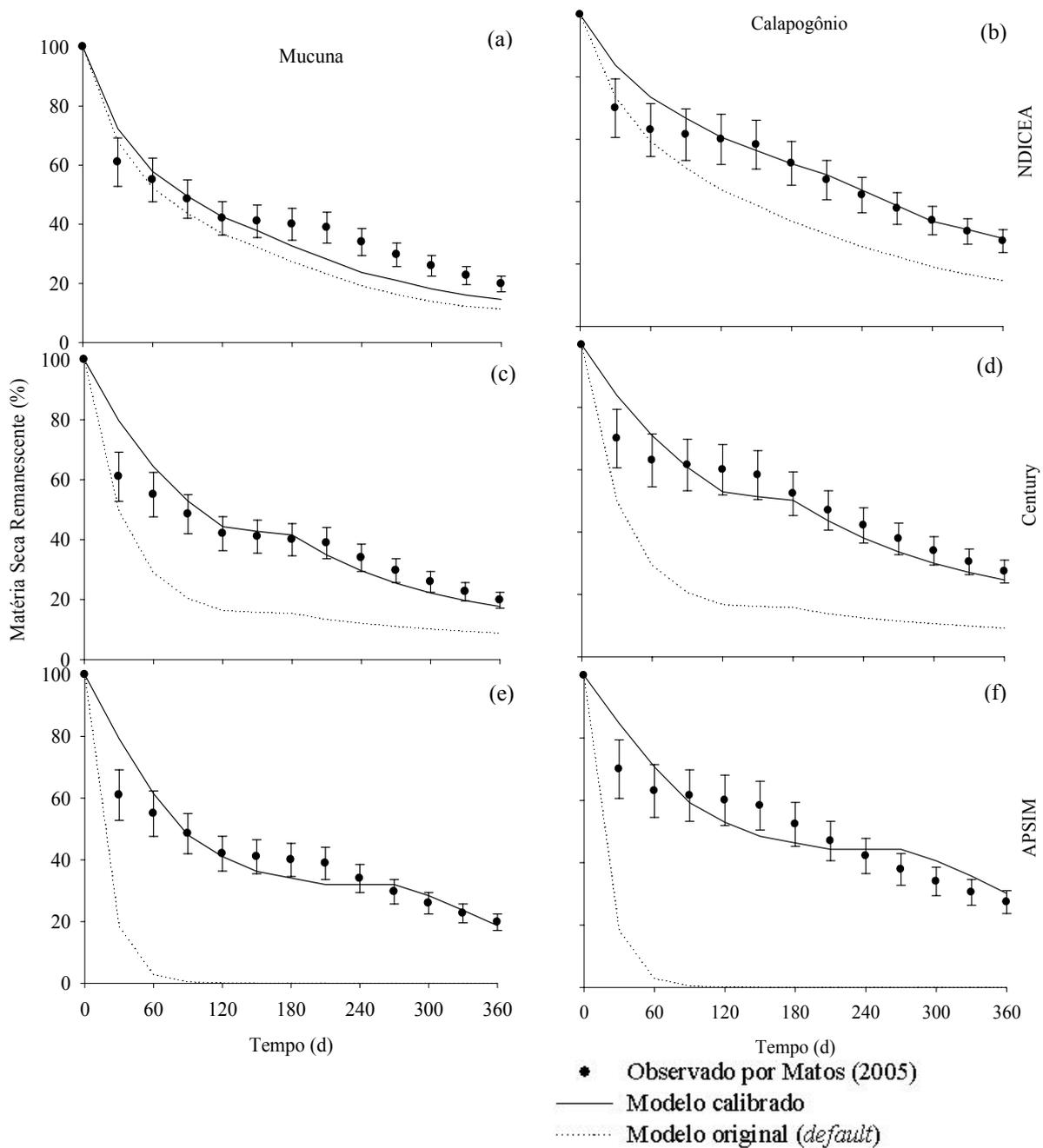


Figura 5 – Matéria seca remanescente observada (pontos) e simulada pelo modelo NDICEA, Century e APSIM calibrados (linha cheia) e não calibrados (linha pontilhada) durante 360 dias de decomposição dos resíduos de mucuna e calapogônio. As barras nos pontos correspondem ao intervalo de confiança da média observada.

Durante a decomposição, com exceção do resíduo de amendoim e estilosante no NDICEA, para os demais materiais e em todos os modelos a calibração foi realizada de modo a desacelerar a decomposição em relação ao valor original do parâmetro (*default*). Nota-se que o

NDICEA foi o modelo que apresentou menor desvio na decomposição e liberação de N dos materiais vegetais com sua calibração original em relação aos demais modelos. Os resíduos de amendoim, estilosante e mucuna receberam a mesma calibração no Century e APSIM. No NDICEA a calibração foi realizada de acordo com a composição química de cada material. Dessa forma, submetido o IA a correlação, este se correlacionou ($P < 0,05$) com a relação polifenóis totais solúveis/N ($r = -0,9410$). Assim, foi elaborada uma equação que pode ser utilizada na estimativa do IA para materiais vegetais sob 360 dias (equação 28) em decomposição:

$$IA = 2,03885 - 1,7574 \times PPN \quad r^2 = 0,8854 \quad (28)$$

em que: PPN é a relação polifenóis totais solúveis/N.

A calibração no NDICEA para liberação do N dos resíduos de amendoim, estilosante e mucuna foi 0,3, menor que a calibração realizada para estimar a decomposição. Para o calapogônio, esta calibração foi 0,5 menor que a decomposição. No APSIM a calibração para liberação do N de todos os materiais vegetais foi 0,004, maior que a calibração utilizada para estimar a taxa de decomposição. Isto foi realizado em materiais que possuíram a liberação de N ligeiramente maior que a decomposição. No Century não houve a necessidade desse ajuste, por computar maior liberação N que a decomposição.

Depois de calibrados, os modelos aumentaram o grau de acurácia em estimar a taxa de decomposição e liberação de N dos resíduos de materiais vegetais. O NDICEA estimou a decomposição com maior grau de acurácia para o amendoim, calapogônio e estilosante, haja vista a simulação da dinâmica de decomposição (Figura 5) e as equações ajustadas (Quadro 10). O grau de acurácia do NDICEA constatada na decomposição não se confirmou para a liberação do N, onde as equações de regressão ajustadas da liberação do N observada em função da simulada diferiram do ideal com maior frequência. Isto foi observado pelo fato do intercepto da equação ajustada para o amendoim e mucuna ter diferido de zero, e a inclinação da equação do calapogônio e mucuna diferido de um.

O APSIM, em linhas gerais, apresentou elevado grau de acurácia, apesar de não ter demonstrado esse comportamento durante a cinética de decomposição e liberação do N. Na decomposição, somente para o resíduo de amendoim, o intercepto da equação ajusta diferiu de zero e, na liberação do N, a equação ajustada para o resíduo de calapogônio diferiu da ideal.

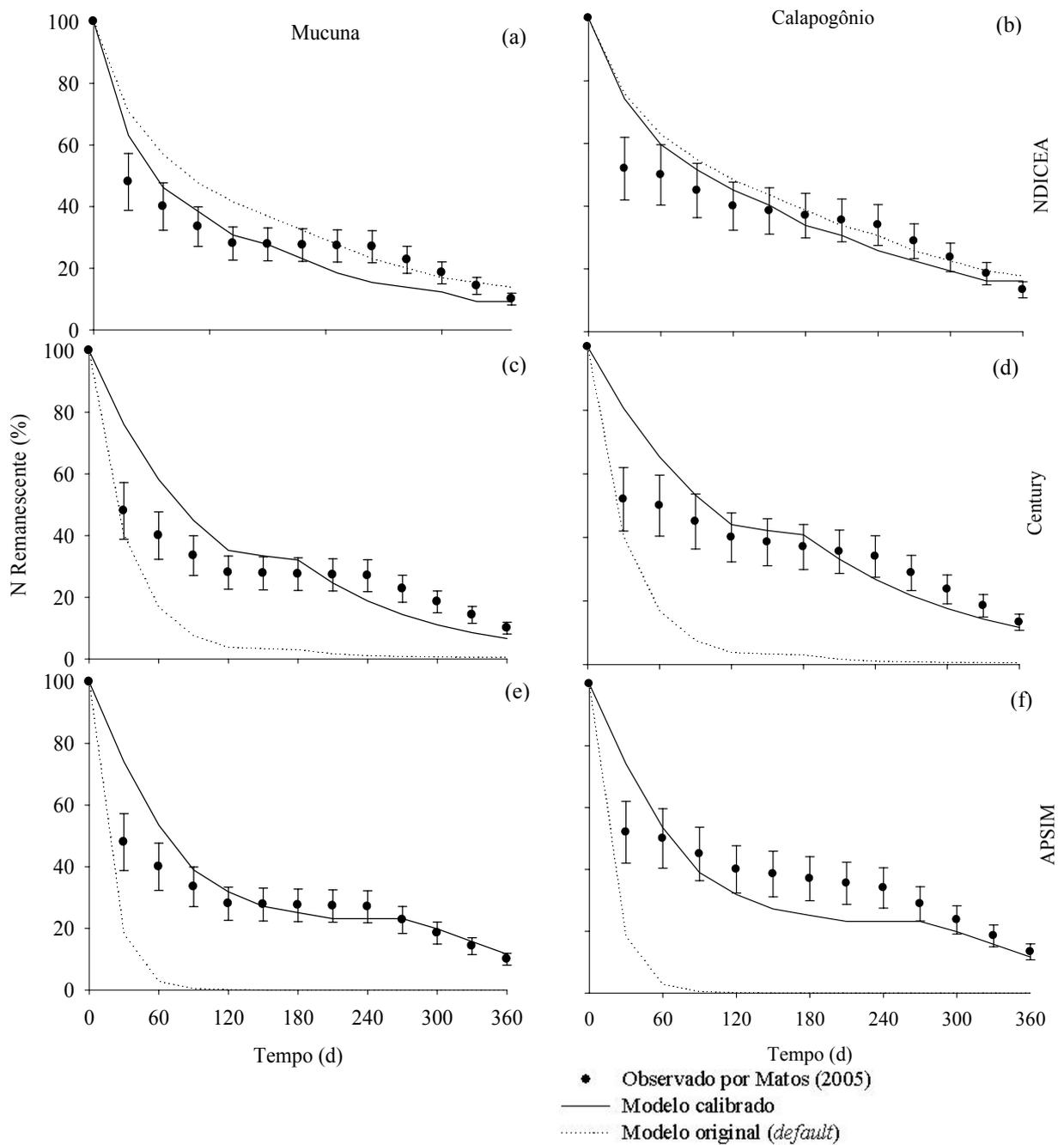


Figura 6 – N remanescente observado (pontos) e simulado pelo modelo NDICEA, Century e APSIM calibrados (linha cheia) e não calibrados (linha pontilhada) durante 360 dias de decomposição dos resíduos de mucuna e calapogônio. As barras nos pontos correspondem ao intervalo de confiança da média observada.

Diferente dos 150 dias, nos 360 dias foi possível notar o efeito do clima sobre a decomposição e liberação de N dos resíduos. Foi verificado que o NDICEA apresenta menor sensibilidade às condições climáticas, vista sua simulação para a mucuna durante os 360 dias. Contudo, o Century e, mais acentuadamente o APSIM, responderam às mudanças nas condições climáticas, estabilizando ou diminuindo a decomposição ou liberação de N no período de inverno e, voltando a acelerar esse processo quando a umidade e temperatura foram mais propícias para a atividade biológica.

Quadro 9 – Variável que controla a taxa de decomposição nos modelos em seu valor original (*default*) e calibrada para os diferentes materiais vegetais aos 360 dias de decomposição no município de Pedra Dourada

Material Vegetal	Modelo							
	NDICEA		Century		APSIM			
	Original	Calibrado	Original	Calibrado	Original	Calibrado		
		dec 1 ^a	dec 2 ^b	dec 1	dec 2			
	Decomposição							
Amendoim	0,99	0,99	3,9	14,8	1,9	4,8	0,100	0,014
Calapogônio	0,99	1,41	3,9	14,8	0,9	3,8	0,100	0,010
Estilosante	0,99	0,99	3,9	14,8	1,9	4,8	0,100	0,014
Mucuna	0,99	1,11	3,9	14,8	1,9	4,8	0,100	0,014
	Liberação de N							
Amendoim	0,990	0,690	1,9	4,8	1,9	4,8	0,014	0,018
Calapogônio	1,410	0,910	0,9	3,8	0,9	3,8	0,010	0,014
Estilosante	0,990	0,690	1,9	4,8	1,9	4,8	0,014	0,018
Mucuna	1,110	0,810	1,9	4,8	1,9	4,8	0,014	0,018

^a: correspondente a decomposição do compartimento estrutural do material orgânico. ^b: correspondente a decomposição do compartimento metabólicos do material orgânico.

O tempo estimado de meia vida para a decomposição dos resíduos de calapogônio e estilosante simulado pelo Century foi o que apresentou menor desvio em relação ao observado (Quadro 10). Este modelo também apresentou menor desvio no tempo de meia vida para liberação do N dos resíduos de amendoim, calapogônio e estilosante. O NDICEA foi o modelo que apresentou menor desvio no tempo de meia vida para a decomposição do resíduo de amendoim e, liberação de N, do resíduo de mucuna. Isso foi observado para o APSIM na decomposição do resíduo de mucuna. Apesar do Century apresentar, com frequência, menor desvio em relação ao observado, os demais modelos apresentaram desvio satisfatório, tendo em vista que foi experimento à campo. Como exemplo, na decomposição dos resíduos de estilosante o Century apresentou desvio em relação ao valor de meia vida observado em torno de 0,24 %, e o

NDICEA e APSIM de 4,3 e 19,42 %, respectivamente. Isto também ocorre com a liberação de N dos resíduos de materiais vegetais, havendo muitas vezes pequena diferença entre os modelos na estimativa da meia vida para decomposição e liberação de N dos materiais vegetais.

Quadro 10 – Equação de regressão linear da taxa de decomposição e liberação do N observada (\hat{y}) nos materiais vegetais em função dos dados simulados (x) pelo NDICEA, Century e APSIM, sob 360 dias de decomposição no município de Pedra Dourada

Material Vegetal	Equação Decomposição	R ²	Equação Liberação de N	R ²
NDICEA				
Amendoim	$\hat{y} = -0,719 + 0,945x$	0,969	$\hat{y} = \mathbf{6,099} + 0,883x$	0,947
Calapogônio	$\hat{y} = 3,093 + 0,897x$	0,959	$\hat{y} = 6,209 + \mathbf{0,813}x$	0,901
Estilosantes	$\hat{y} = 1,795 + 0,933x$	0,976	$\hat{y} = 7,160 + 0,811x$	0,851
Mucuna	$\hat{y} = \mathbf{10,66} + \mathbf{0,816}x$	0,957	$\hat{y} = \mathbf{6,458} + \mathbf{0,835}x$	0,930
Century				
Amendoim	$\hat{y} = \mathbf{-9,835} + 0,964x$	0,936	$\hat{y} = 1,223 + 0,824x$	0,900
Calapogônio	$\hat{y} = \mathbf{9,401} + \mathbf{0,842}x$	0,944	$\hat{y} = 7,905 + \mathbf{0,749}x$	0,872
Estilosantes	$\hat{y} = 1,694 + 0,904x$	0,967	$\hat{y} = 5,970 + \mathbf{0,728}x$	0,787
Mucuna	$\hat{y} = 6,403 + \mathbf{0,826}x$	0,943	$\hat{y} = 6,042 + \mathbf{0,746}x$	0,858
APSIM				
Amendoim	$\hat{y} = \mathbf{-11,607} + 1,008x$	0,912	$\hat{y} = -2,342 + 0,915x$	0,926
Calapogônio	$\hat{y} = 2,738 + 0,924x$	0,884	$\hat{y} = \mathbf{11,44} + \mathbf{0,786}x$	0,880
Estilosantes	$\hat{y} = -2,410 + 0,970x$	0,925	$\hat{y} = 3,614 + 0,810x$	0,790
Mucuna	$\hat{y} = 5,275 + 0,864x$	0,930	$\hat{y} = 2,520 + 0,838x$	0,901

Valores dos componentes da equação ajustada, intercepto ou inclinação, em negrito diferem estatisticamente de 0 e 1, respectivamente, à 95 % de probabilidade.

Quadro 11 – Estimativa da constante k e tempo de meia vida observada da matéria seca e liberação do N e simulada pelo modelo NDICEA, Century e APSIM para os materiais vegetais sob 360 dias de decomposição no município de Pedra Dourada

Material Vegetal		Modelo			
		OBS	NDICEA	Century	APSIM
Decomposição					
Amendoim	k (d ⁻¹)	0,007016	0,006057	0,004890	0,004629
	Meia vida (d)	98,8	114,4	141,7	149,7
Calapogônio	k (d ⁻¹)	0,003637	0,004228	0,003888	0,004657
	Meia vida (d)	190,5	163,9	178,2	148,8
Estilosante	k (d ⁻¹)	0,005562	0,005330	0,005460	0,004695
	Meia vida (d)	124,6	130,0	126,9	147,6
Mucuna	k (d ⁻¹)	0,004471	0,005350	0,004812	0,004657
	Meia vida (d)	155,0	129,5	144,0	148,8
Liberação de N					
Amendoim	k (d ⁻¹)	0,009518	0,007230	0,007470	0,005950
	Meia vida (d)	72,8	95,9	92,8	116,5
Calapogônio	k (d ⁻¹)	0,005600	0,005068	0,005964	0,005980
	Meia vida (d)	123,8	136,7	116,2	115,9
Estilosante	k (d ⁻¹)	0,009393	0,007094	0,007532	0,006020
	Meia vida (d)	73,8	97,7	92,0	115,1
Mucuna	k (d ⁻¹)	0,006396	0,006618	0,007536	0,005980
	Meia vida (d)	108,3	104,7	92,0	115,9

^aTempo estimado para que 50 % do material seja decomposto. Valor em negrito de meia vida simulada que apresenta menor desvio em relação ao observado.

3.1.3. Análise de Sensibilidade

Os resíduos de crotalária, braquiária e ingá, submetidos a 150 dias de decomposição, apresentaram relação C/N observada de 16, 28 e 17, respectivamente (Figura 7). Os resíduos de mucuna e calapogônio, que foram os representativos para 360 dias, apresentam relação C/N observada de 12,3 e 12,5, respectivamente (Figura 8). Esses materiais foram submetidos à análise de sensibilidade realizada pela mudança da relação C/N. De maneira geral, tanto para a taxa de decomposição, quanto para liberação do N, o APSIM apresentou maior sensibilidade em relação ao Century, observada pelas diferenças mais acentuadas das curvas à medida que se eleva essa relação (Figuras 7, 8, 9 e 10).

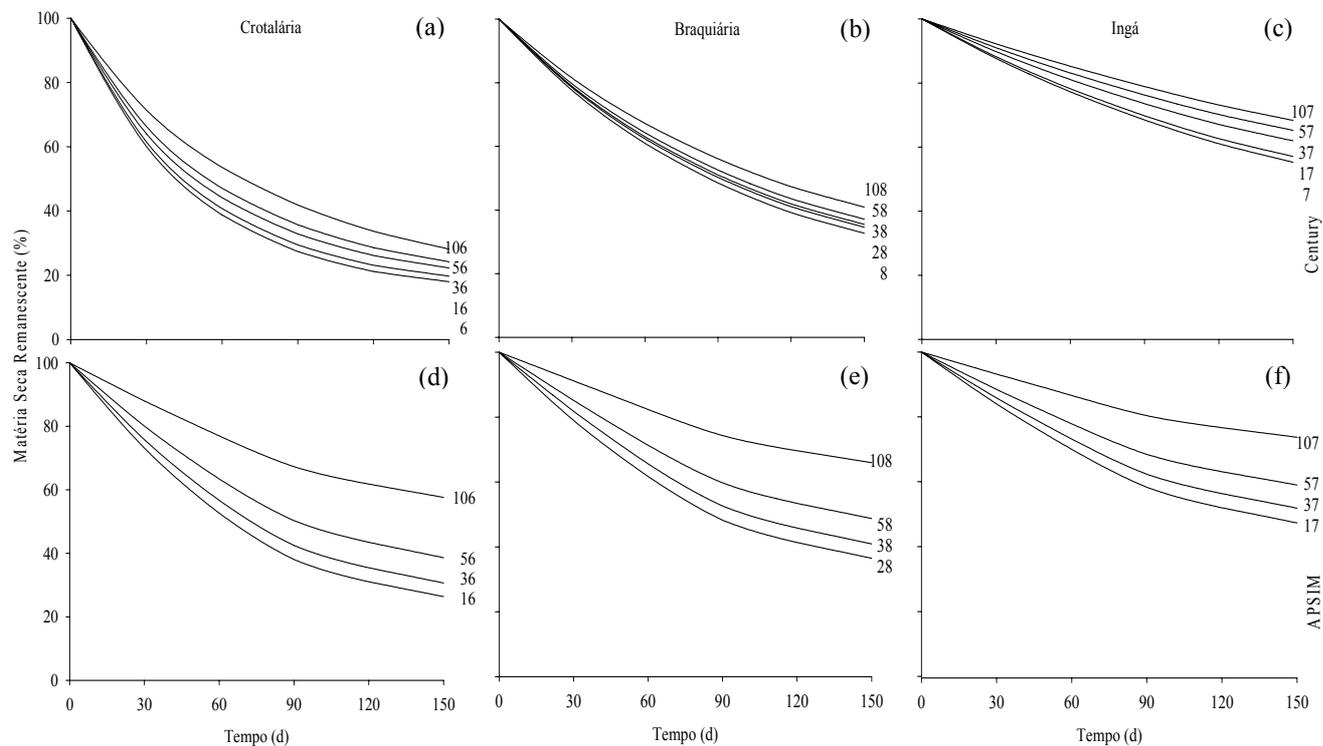


Figura 7 – Matéria seca remanescente na análise de sensibilidade do Century e APSIM em resposta a variação da relação C/N para os resíduos de crotalária, braquiária e ingá sob 150 dias de decomposição. Os números ao lado das linhas correspondem ao valor da relação C/N utilizados na simulação.

Como o teor de N no resíduo não influencia na taxa de decomposição no modelo NDCIEA, estes não foram plotados, estando os mesmos presentes na Figura 4.

No Century, a amplitude dos resultados de saída obtidos pela entrada do maior e o menor valor da relação C/N variou de acordo com o material. Aparentemente, para os 360 dias no Century, materiais que decompõem mais lentamente (Figura 8b) apresentaram maior sensibilidade à mudança na relação C/N. Entretanto, no APSIM, a entrada da maior e menor relação C/N resultou em amplitude semelhante, independente do tipo de material vegetal (Figura 8 c; d).

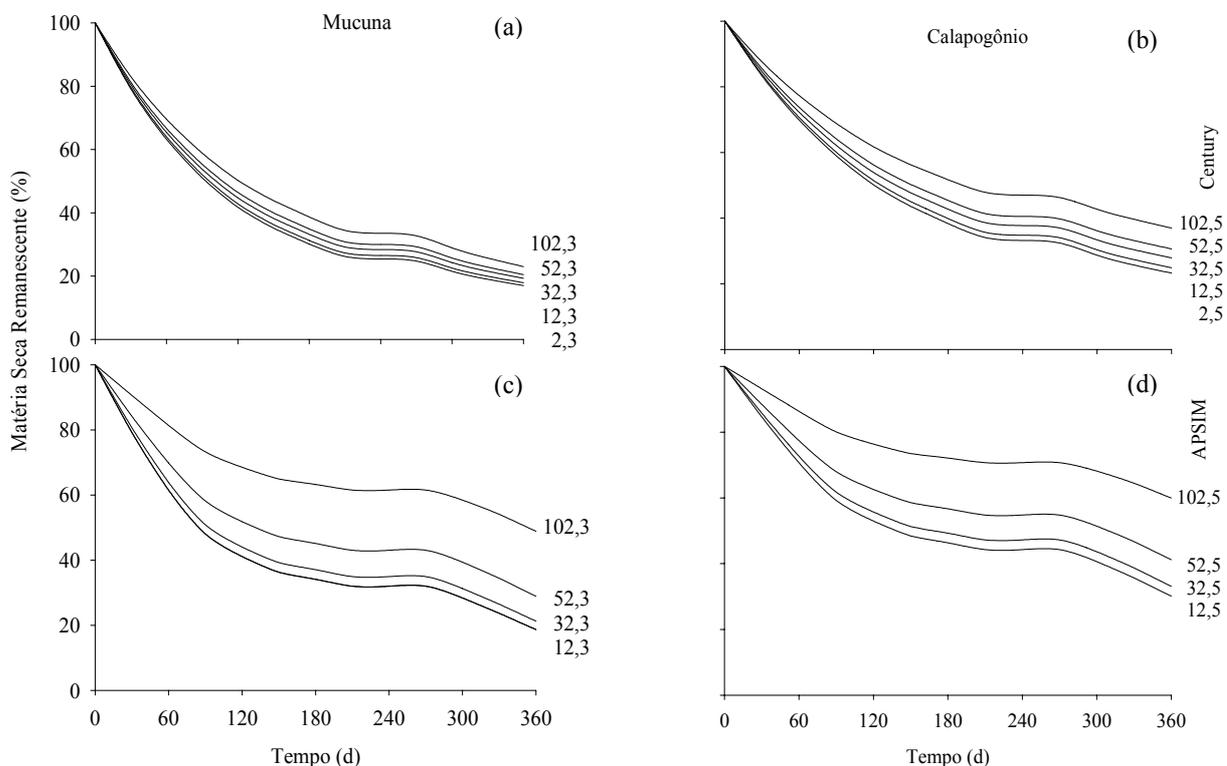


Figura 8 – Matéria seca remanescente na análise de sensibilidade do Century e APSIM em resposta a variação da relação C/N para os resíduos de mucuna (12,3) e calapogônio (12,5) sob 360 dias de decomposição. Os números ao lado das linhas correspondem ao valor da relação C/N utilizados na simulação.

Esses resultados sugerem algumas ponderações: não é coerente fazer comparações entre dois ou três materiais simulados por um mesmo modelo, e afirmar, ou inferir, sobre maior sensibilidade por possuir maior teor de lignina (ou outra característica de ordem química ou bioquímica), uma vez que a calibração dos parâmetros que controlam a decomposição e, conseqüentemente, a liberação do N, é específico para os materiais.

O APSIM, abaixo da relação C/N de 25 não respondeu às mudanças realizadas nesta variável, uma vez que o modelo estabelece este pressuposto (Figura 1 e equação 9).

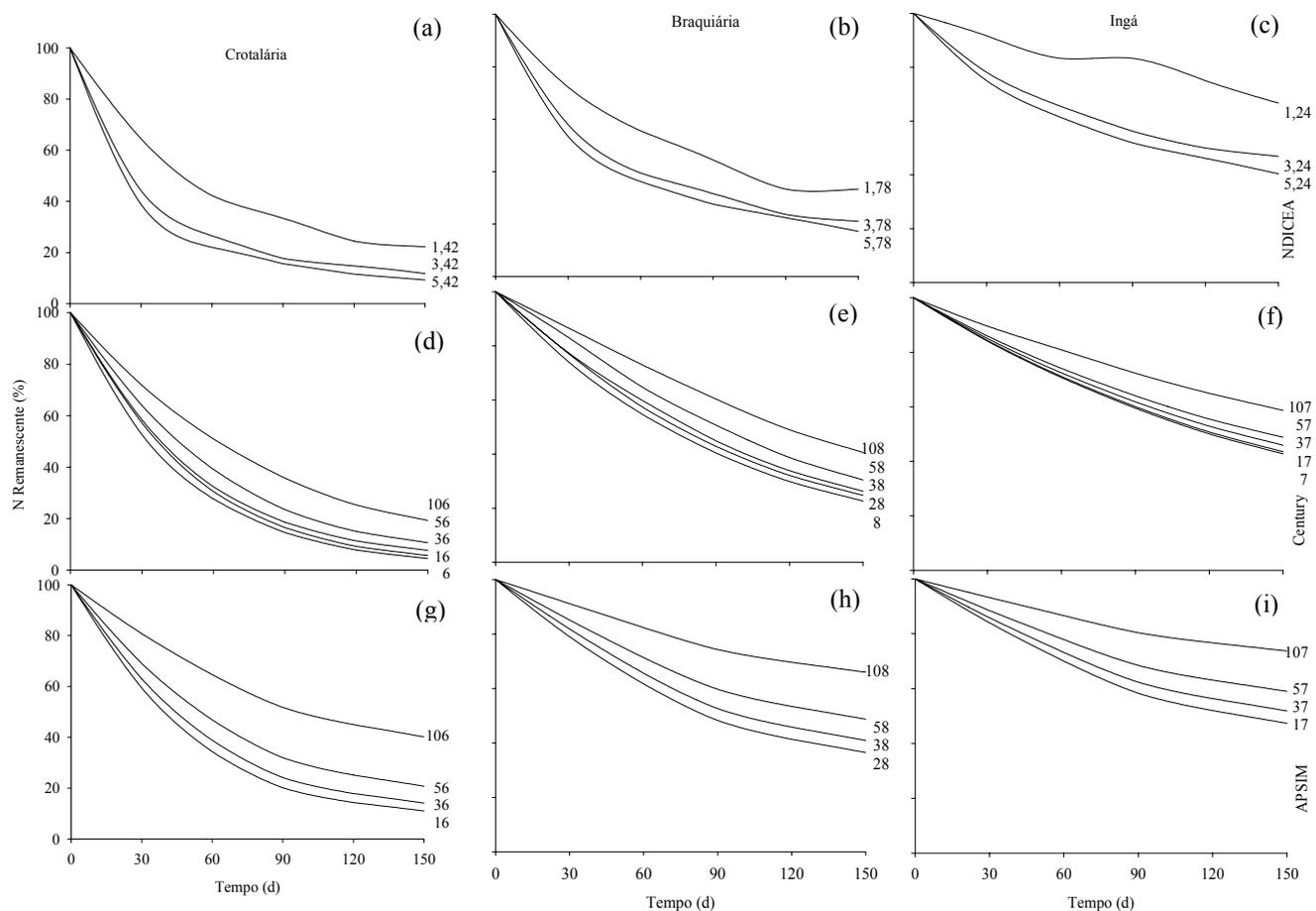


Figura 9 – N remanescente na análise de sensibilidade do NDICEA, Century e APSIM em resposta a variação da relação C/N para os resíduos de crotalária, braquiária e ingá sob 150 dias de decomposição. Os números ao lado das linhas correspondem ao valor da relação C/N utilizados na simulação.

O NDICEA responde diminuindo pronunciadamente a liberação do N a medida que se diminui o teor de N do material vegetal. A liberação do N na mucuna durante 360 dias (Figura 10a) simulado pelo NDICEA seguiu padrão diferenciado dos demais materiais simulados pelo mesmo modelo.

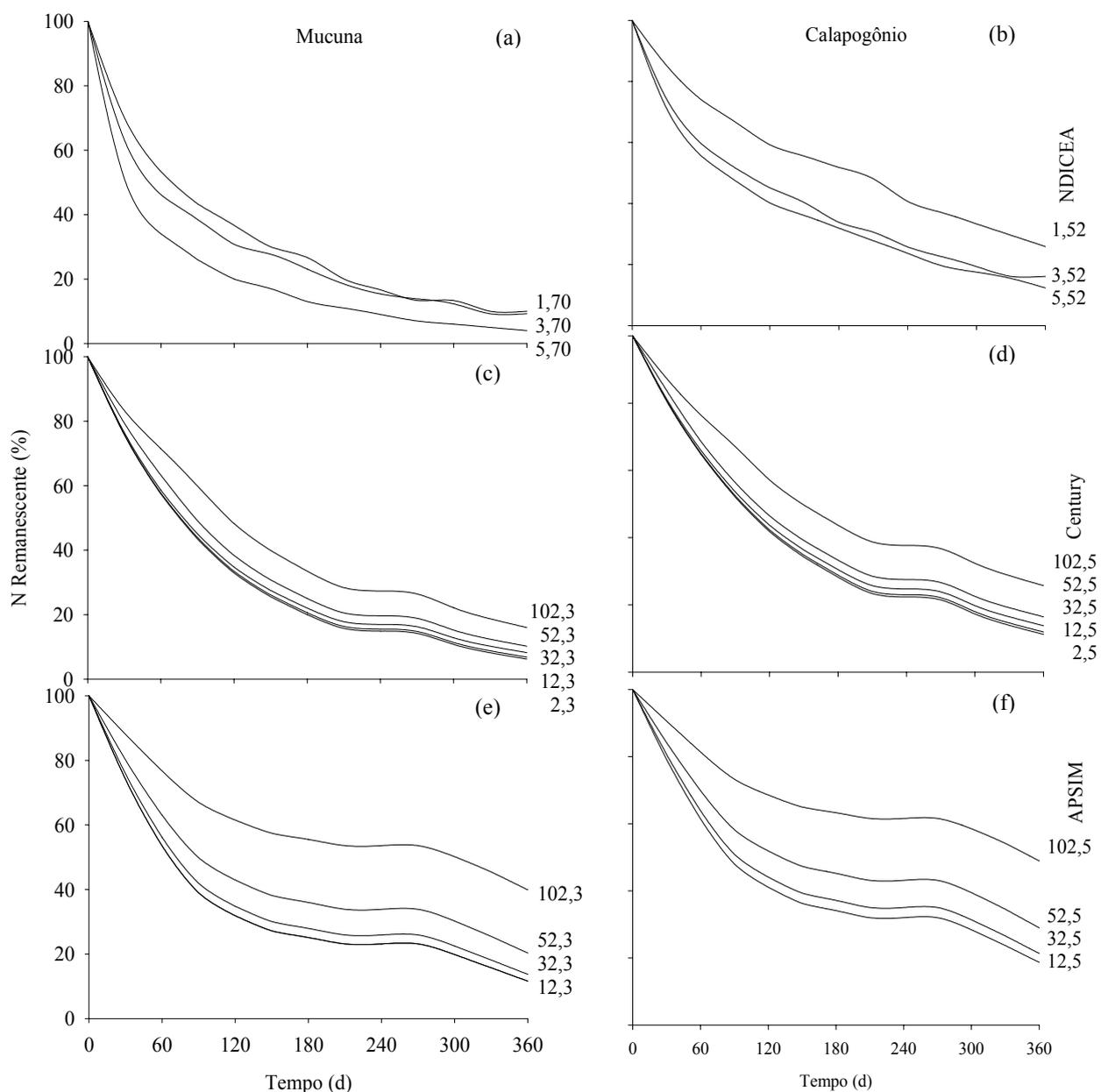


Figura 10 – N remanescente na análise de sensibilidade do Century e APSIM em resposta a variação da relação C/N para os resíduos de mucuna (12,3) e calapogônio (12,5) sob 360 dias de decomposição. Os números ao lado das linhas correspondem ao valor da relação C/N utilizados na simulação.

3.1.4. Validação

Foram mantidas as calibrações dos parâmetros que controlam a decomposição dos respectivos modelos e adicionadas as características climáticas, de composição do material e de

solo do trabalho realizado em Seropédica, RJ (Espindola et al., 2006) para testar o comportamento dos modelos. Para efeito de simulação do NDICEA foi utilizada a equação 26 (estimar o IA a partir da relação lignina/N) na estimativa dos IAs, proposta por este trabalho. Assim, para a matéria seca e N remanescentes nos resíduos durante as duas estações foi observado que enquanto o NDICEA apresentou a constante k variando de acordo com os materiais, no Century e APSIM essas constantes permaneceram mais uniformes (Quadro 12). No NDICEA, na maioria das vezes, esta característica representou maior grau de acurácia, indicando as habilidades do modelo.

Quadro 12 – Constante k (dia^{-1}) da matéria seca e N observada e simulada pelo NDICEA, Century e APSIM para os materiais vegetais sob 150 dias em decomposição no período seco e chuvoso em Seropédica, RJ

Material	Modelos			
	Observado ¹	NDICEA	Century	APSIM
----- d ⁻¹ -----				
Estação Seca				
Matéria Seca				
Amendoim	0,0200 (0,0019) ²	0,0121	0,0096	0,0039
Cudzu	0,0100 (0,0025)	0,0139	0,0103	0,0041
Siratro	0,0100 (0,0061)	0,0090	0,0091	0,0038
Espontâneas	0,0050 (0,0011)	0,0065	0,0095	0,0031
N				
Amendoim	0,0160 (0,0036)	0,0175	0,0154	0,0065
Cudzu	0,0060 (0,0014)	0,0216	0,0155	0,0067
Siratro	0,0080 (0,0025)	0,0099	0,0150	0,0063
Espontâneas	ND	ND	ND	ND
Estação Chuvosa				
Matéria Seca				
Amendoim	0,0290 (0,016)	0,0130	0,0115	0,0093
Cudzu	0,0110 (0,0028)	0,0121	0,0111	0,0093
Siratro	0,0230 (0,0061)	0,0135	0,0116	0,0092
Espontâneas	0,0070 (0,0014)	0,0050	0,0115	0,0046
N				
Amendoim	0,0220 (0,0072)	0,0168	0,0211	0,0153
Cudzu	0,0120 (0,0028)	0,0147	0,0208	0,0153
Siratro	0,0210 (0,0056)	0,0181	0,0211	0,0153
Espontâneas	ND	ND	ND	ND

¹ Observado por Espindola et al. (2006). ² Valores entre parênteses correspondem ao intervalo de confiança da média para mais e para menos. ND = não determinada.

Ressalta-se que a constante k simulada para as plantas espontâneas pelo APSIM na estação seca e chuvosa apresenta diferenças em relação aos demais materiais vegetais, mostrando ser sensível a relação C/N, uma vez que este material apresentou relação C/N mais elevada.

No cálculo da meia vida dos materiais vegetais nas duas estações (Quadro 13), exceto a meia vida do N para o resíduo de cudzu no período seco e meia vida da matéria seca das plantas espontâneas no período chuvoso, o NDICEA quando não apresentou valores simulados dentro do intervalo de confiança, foi o modelo que apresentou menor desvio em relação à meia vida medida, tanto para a matéria seca quanto para o N nas duas estações.

Quadro 13 – Meia vida ($T_{1/2}$ - dia) da matéria seca e N observada e simulada pelo NDICEA, Century e APSIM para os materiais vegetais sob 150 dias em decomposição no período seco e chuvoso em Seropédica, RJ

Material	Observado ¹	Modelos		
		NDICEA	Century	APSIM
----- d -----				
Estação Seca				
Matéria Seca				
Amendoim	34,65 ±3,90	<i>57,18</i>	72,44	175,86
Cudzu	69,30 ±21,60	49,80	67,47	168,55
Siratro	69,30 ±94,96	77,38	75,94	181,17
Espontâneas	138,60 ±37,70	107,26	72,69	220,82
N				
Amendoim	43,31 ±11,99	39,54	45,05	106,63
Cudzu	115,50 ±32,92	32,14	44,67	103,01
Siratro	86,63 ±35,54	70,16	46,19	109,69
Espontâneas	ND			
Estação Chuvosa				
Matéria Seca				
Amendoim	23,90 ±25,52	<i>53,19</i>	60,03	74,76
Cudzu	63,00 ±19,87	57,40	62,37	74,77
Siratro	30,13 ±10,10	<i>51,16</i>	59,85	75,13
Espontâneas	99,00 ±23,71	139,10	<i>60,10</i>	149,70
N				
Amendoim	31,50 ±13,79	41,32	32,79	45,19
Cudzu	57,75 ±16,46	47,14	33,32	45,34
Siratro	33,00 ±11,00	38,23	32,77	45,34
Espontâneas	ND			

¹ Valor ± intervalo de confiança observado por Espindola et al., 2006. Negrito = valor simulado dentro do intervalo de confiança. Itálico = valor simulado com menor desvio em relação ao observado, quando nenhum dos modelos simulou dentro do intervalo de confiança.

O APSIM apresentou desempenho menos satisfatório na estação seca para a matéria seca remanescente, subestimando a taxa de decomposição, fato que pode ser atribuído à sua maior sensibilidade aos fatores climáticos. Isto fica evidente quando comparadas a estação seca e chuvosa.

Como já mencionado, porém com mais clareza quanto à meia vida dos materiais vegetais (Quadro 13), enquanto o NDICEA apresenta maior flutuação nos valores simulados de acordo com o tipo e qualidade dos materiais vegetais, o Century e o APSIM apresentam certa similaridade, não variando muito de material para material. No APSIM, a simulação para plantas espontâneas foi uma exceção, pois, como já abordado, este modelo apresenta maior sensibilidade a relação C/N.

3.2. Estercos

A calibração de todos os modelos para simular a decomposição (oxidação do C) e mineralização do N foi diferente de acordo com o tipo de esterco (Quadro 14). Na calibração do NDICEA e do APSIM para os estercos de bovino e de coelho, as variáveis que regulam a decomposição tiveram que ser modificadas de modo a acelerar a mineralização do N em relação à decomposição. No entanto, para os estercos de suíno e galinha ocorreu o inverso, a decomposição foi retardada para poder explicar a mineralização do N. No Century a decomposição teve que ser acelerada para explicar a mineralização do N no esterco de coelho.

Quadro 14 – Calibração do NDICEA, Century e APSIM para simulação da oxidação de C e mineralização do N dos estercos

Material	NDICEA	Century		APSIM
		dec 1	dec 2	
C				
Bovino	1,79	3,9	14,8	0,0058
Coelho	1,56	3,9	17,3	0,0072
Galinha	1,14	3,9	28,8	0,0125
Suíno	1,41	3,9	20,8	0,008
N				
Bovino	1,29	2,9	8,8	0,0068
Coelho	0,46	3,9	27,8	0,043
Galinha	1,59	2,9	5,8	0,0068
Suíno	2,7	1,9	3,8	0,0026

Em razão das diferentes calibrações para os esterco, foram realizadas correlações entre os parâmetros de calibração de cada modelo e a composição química e bioquímica dos esterco. Na calibração de todos os modelos para decomposição, as variáveis que controlam este processo correlacionaram significativamente ($P < 0,05$) com o teor de N (NDICEA $r = -0,9058$; Century $r = 0,9731$; APSIM $r = 0,9587$), relação C/N (NDICEA $r = 0,9580$; Century $r = -0,9971$; APSIM $r = -0,9960$) e carboidratos solúveis totais (NDICEA $r = -0,9542$; Century $r = 0,9893$; APSIM $r = 0,9999$) dos esterco. No entanto, para a mineralização do N foi obtida correlação do IA do NDICEA somente com a capacidade dos polifenóis em complexar proteínas (0,9422). No Century e APSIM a maior correlação ($P = 0,11$) foi observada também com a capacidade dos polifenóis em complexar proteínas ($r = -0,7831$ e $-0,7847$, respectivamente).

Dessa forma, os modelos foram capazes de simular a porcentagem de perda de C e a mineralização do N dos esterco submetidos à incubação em laboratório (Quadro 15). Pelo alto grau de acurácia dos modelos não se pode afirmar qual foi melhor para simular a decomposição, uma vez que não houve diferença dos dados da oxidação simulada para a observada. Comportamento semelhante foi observado para a mineralização de N.

Quadro 15 – C oxidado e conteúdo de N observado e simulado pelo modelo NDICEA, Century e APSIM para diferentes esterco

Material	Observado ¹	NDICEA	Century	APSIM
C (%)				
Bovino	15,67	15,57	15,94	15,76
Coelho	18,78	18,90	18,28	18,75
Galinha	28,98	28,80	28,94	28,94
Suíno	21,17	21,72	21,44	21,09
N (mg kg⁻¹)				
Bovino	265,00	280,00	258,08	264,11
Coelho	865,00	870,00	856,70	865,10
Galinha	665,00	660,00	662,65	663,40
Suíno	153,00	160,00	147,62	151,38

¹Fonte: Chacón, 2006.

3.3. Compostos

Assim como para os esterco, a calibração para simulação da decomposição e mineralização do N dos compostos foi diferente de acordo com o material orgânico utilizado na elaboração dos compostos (Quadro 16). No NDICEA, com exceção da casca de café, para

simular satisfatoriamente a mineralização do N houve necessidade de ser aumentada a taxa de decomposição dos compostos. No Century, a calibração para decomposição e mineralização do N do composto formado pela casca de café e esterco bovino foi a mesma e, no vermicomposto foi necessário aumentar a taxa de decomposição para mineralização do N em relação ao ajuste para decomposição; para o composto de casca de café e chorume, mucilagem e casca de café foi observado o inverso. Para a mineralização do N do composto com esterco bovino e casca de café, a decomposição do APSIM foi retardada em relação a oxidação do C e nos demais materiais foi constatado o inverso.

Quadro 16 – Calibração do NDICEA, Century e APSIM para simulação da oxidação do C e mineralização do N dos diferentes compostos

Material	NDICEA	Century		APSIM
		dec 1	dec 2	
C				
Bovino+casca de café	5,47	1,9	6,8	0,0052
Casca de café	1,94	5,9	38,8	0,0011
Mucilagem+chorume+casca de café	1,43	3,9	52,8	0,011
Vermicomposto	18,39	0,4	1,3	0,00058
N				
Bovino+casca de café	1,46	1,9	6,8	0,0017
Casca de café	1,94	1,9	3,8	0,0084
Mucilagem+chorume+casca de café	0,76	3,9	14,8	0,0165
Vermicomposto	0,53	3,9	9,8	0,045

Não houve correlação da calibração do Century para a decomposição com características químicas e bioquímicas dos compostos. No NDICEA, o IA correlacionou ($P < 0,10$) com o teor de N dos compostos ($r = -0,8147$). No APSIM, foi obtida correlação ($P < 0,05$) do potencial de decomposição com o teor de Ca (0,9511) e proteína bruta (0,9253).

Pela calibração realizada nos modelos foi possível chegar a resultados simulados com alto grau de acurácia em relação aos resultados observados para decomposição e mineralização do N (Quadro 17).

Quadro 17 – C oxidado e conteúdo de N observado e simulado pelo modelo NDICEA, Century e APSIM para diferentes compostos

Material	Observado¹	NDICEA	Century	APSIM
			C (%)	
Bovino+casca de café	2,92	2,84	2,81	2,90
Casca de café	13,92	13,94	13,78	13,89
Mucilagem+chorume+casca de café	21,37	21,91	20,95	21,30
Vermicomposto	0,59	0,59	0,59	0,60
			N (mg kg⁻¹)	
Bovino+casca de café	189,00	188,52	176,25	190,00
Casca de café	65,00	66,01	62,20	70,00
Mucilagem+chorume+casca de café	627,00	630,68	625,92	630,00
Vermicomposto	1090,00	1090,18	1016,84	1080,00

¹Fonte: Chacón (2006)

4. DISCUSSÃO

4.1. Materiais Vegetais

A calibração dos modelos foi dividida em duas etapas. A primeira consistiu em encontrar, por aproximação, o patamar em que os parâmetros deveriam permanecer para alcançar um nível de acurácia satisfatório para as condições ambientais estabelecidas. Encontrado esse ponto, foi realizada a calibração de acordo com os materiais e/ou grupos de materiais.

Em razão das distintas composições químicas e bioquímicas dos materiais vegetais, a calibração do parâmetro que controla a decomposição no Century (DEC 1 e 2) e APSIM (potencial de decomposição) foi realizada de maneira que abrangesse grupos de materiais: de mais fácil e de difícil decomposição. Desta forma, para materiais com composição que não favorecem a decomposição, este processo ocorre mais lentamente (Kögel, 1986; Constantinides & Fownes 1994; Lupwayi & Haque, 1998), o que levou a calibração do parâmetro que controla a decomposição do modelo a ser ajustado de modo que retardasse este processo, e vice-versa. A qualidade do resíduo da planta é considerada um importante fator na decomposição e liberação de N (Heal et al., 1997). As relações C/N, lignina/N, polifenóis/N e lignina+polifenóis/N estão inversamente correlacionadas com a taxa de decomposição e liberação de nutrientes desses materiais (Melillo et al., 1982; Thomas & Asakawa, 1993; Constantinides & Fownes, 1994; Handayanto et al., 1995; Cobo et al., 2002). Dessa forma, nos resíduos de plantas arbóreas, com maior abundância desses compostos, a taxa de decomposição foi retardada em todos os modelos em relação a calibração para os demais materiais, como para os resíduos de ingá. Contrariamente, para os resíduos de plantas de leguminosas herbáceas, em todos os modelos a taxa de decomposição foi acelerada. Isto é mais explícito no experimento de 150 dias. Durante os 360 dias essas mudanças também tiveram que ser realizadas em relação à gramínea. Ressalta-se ainda que, nos materiais de mais fácil decomposição, o APSIM estimou a meia vida da matéria seca mais próxima do observado. Sendo este um modelo que considera somente a relação C/N dos materiais orgânicos, isto corrobora com pesquisas que encontraram que esta relação pode ser utilizada para descrever somente a decomposição de materiais com teores baixos de lignina e polifenóis (Heal et al., 1997).

No NDICEA, a calibração adequada para simular com acurácia não seguiu o mesmo critério do Century e APSIM, que foi feita por grupos de materiais. Apesar de constar no manual de uso do NDICEA os IAs para alguns grupos (*default*), estes não corroboram com os observados neste estudo. Nesse sentido, as correlações mostram o quão os IAs estão ligados a composição bioquímica dos materiais vegetais, principalmente com o constituinte N, lignina e polifenóis e suas relações, que tem influência direta na decomposição e liberação de N dos materiais orgânicos vegetais (Fox et al., 1990; Constantinides & Fownes, 1994; Cobo et al, 2002). Dessa forma, mesmo que com poucos dados, as equações elaboradas podem auxiliar na estimativa dos IAs por meio das respectivas características dos materiais, contribuindo para a utilização destes no campo. No entanto, são prementes trabalhos que correlacionem os IAs com a composição química e bioquímica dos materiais vegetais por meio de bancos de dados mais abrangentes os quais constam materiais com várias composições e em quantidades, para que se tenha maior acurácia na utilização desse modelo.

O Century foi o único modelo que utilizou a mesma calibração para taxa de decomposição e liberação do N, fazendo com que a taxa de liberação do N simulada ficasse menos acurada com mais frequência durante os 150 dias, o que não se repetiu durante os 360 dias. Assim, pode-se inferir que o Century é o modelo mais prático, sendo necessária apenas uma simulação para obter os dados de decomposição e liberação do N dos materiais. Ressalta-se que o aumento da decomposição para explicar a taxa de liberação de N, por ter sua cinética diferente da decomposição (Mary et al., 1996; Thomas & Asakawa, 1993), deve ser um critério na calibração do NDICEA e APSIM para a utilização dos materiais no campo.

Para simular satisfatoriamente a decomposição dos resíduos dos materiais orgânicos vegetais, de maneira geral, o parâmetro no Century e APSIM que controla o processo de decomposição foi calibrado de modo a retardar a decomposição. Partindo do princípio da calibração (Addiscott et al., 1995; Leite e Mendonça, 2007), esta diminuição, em relação ao valor original (*default*), no parâmetro do Century e, mais acentuadamente no APSIM, sugerem que estes modelos foram mais sensíveis as condições ambientais estudadas. Isto fica mais evidente na decomposição por 360 dias, haja vista a sensibilidade de ambos os modelos no período de inverno, e também observado no teste de validação, sendo que o APSIM responde mais a estas mudanças. O Century inclui as variáveis temperatura e precipitação em um parâmetro apenas, o que pode reduzir sua sensibilidade a variação dessas características ambientais em relação ao

APSIM. Outro aspecto importante é que a taxa de decomposição no Century também é controlada pelo teor de lignina. De qualquer maneira, o trabalho desenvolvido por Vitousek et al. (1994) indica a necessidade na diminuição da taxa de decomposição, tendo em vista que observaram para condições tropicais do Havaí que o Century superestimou a decomposição da serapilheira da espécie arbórea *Metrosideros polymorpha*, mesmo possuindo composição mais resistente a decomposição que os materiais deste trabalho.

A sensibilidade dos modelos às condições de temperatura e umidade, principalmente no APSIM, sugere a necessidade de ter outro fator controlador da taxa de decomposição para ser mais eficiente na região estudada. Por exemplo, pode-se ter a inserção do pH, como no NDICEA, tendo em vista que maiores temperaturas e precipitação tendem a aumentar a taxa de decomposição, contudo em condições tropicais os solos são mais intemperizados e, por conseguinte, mais ácidos, o que limita esse processo (Swift et al., 1979). Não obstante, apesar de Probert et al. (2005) afirmarem que o teor de lignina dos materiais tem reflexo na relação C/N e, com isso, é suficiente para o APSIM descrever o processo de decomposição, o presente trabalho corrobora com Thorburn et al. (2001), que indica que o $F_{C/N}$ deste modelo não consegue descrever fatores limitantes a decomposição que estão inerentes aos materiais vegetais, podendo ser relevante a inserção de um fator ligado as características bioquímicas dos materiais, por exemplo lignina e polifenóis, uma vez que confirmam seu efeito sobre estes processos (Melillo et al., 1982; Fox et al., 1990; Thomas & Asakawa, 1993; Constantinides & Fownes, 1994; Handayanto et al., 1995; Cobo et al, 2002).

Depois de calibrados, os modelos simularam com maior grau de acurácia a taxa de decomposição e liberação de N dos materiais vegetais para os 150 e 360 dias. Dessa forma, estes modelos podem ser utilizados para descrever estes dois processos nas condições estabelecidas. Contudo, quando validados com outros materiais e em condições ambientais distintas, o NDICEA apresentou o melhor resultado. Ressalta-se a dificuldade de todos os modelos em estimar a liberação inicial de N dos materiais vegetais, sugerindo que neste período, cerca de 30 dias, não é levado em consideração pelos modelos a perda de alguns compostos químicos supostamente por lixiviação (lavagem por chuva ou orvalho).

Pela análise de sensibilidade foi possível constatar que o teor de N considerado isoladamente não influencia no processo de decomposição simulado pelo NDICEA. Contudo, o teor de N no resíduo do material vegetal determina sua relação lignina/N, que por sua vez

controla a taxa de decomposição desses resíduos neste modelo, por ser possível estimar os IAs por meio desta característica (relação lignina/N), usando a equação estabelecida no presente estudo.

Apesar de apresentar bom desempenho, o APSIM não representa uma boa opção para descrever o processo de decomposição e liberação do N para materiais que possuem relação C/N abaixo de 25, como se depreende da análise de sensibilidade e validação do modelo. Probert et al. (2005) relataram dificuldades do APSIM em descrever o comportamento do N em adubos orgânicos com relação C/N mais baixas. Não obstante, no trabalho realizado por Thorburn et al. (2001), fica explícita a dificuldade em estimar um parâmetro do modelo, por exemplo o fator de contato (equação 14), mais especificamente o R_{crit} , e sugerem que esse seja parametrizado entre 1 e 3 t ha⁻¹. Neste trabalho, esta variável foi parametrizada em 3, como forma de aumentar a decomposição inicial devido ao maior contato do material com a camada ativa (que possui as condições mais propícias a decomposição) e, assim, aumentar sua performance inicial, tendo em vista que Thorburn et al. (2001) observaram maior nível de acurácia com o aumento desse parâmetro. Mesmo após esses ajustes, o APSIM não apresentou bom resultado para estimar a taxa de decomposição inicial. Ressalta-se que a calibração do potencial de decomposição (D_{max}) à valores baixos foi observado também por Thorburn et al. (2001), para resíduos de cana-de-açúcar ($D_{max} = 0,017$), o que elevou o grau de acurácia do APSIM em estimar a taxa de decomposição.

A melhor eficiência em estimar a taxa de decomposição e liberação de N pelo NDCIEA pode ser explicada pela estrutura deste modelo. Janssen (1984) analisando a constante k de materiais com composições químicas distintas observou que para todos a resposta da decomposição seguiu o mesmo modelo matemático (equação 1), pré-estabelecendo parâmetros numéricos, sendo essas equações utilizadas pelo NDICEA para descrição da decomposição.

Utilizando os modelos com a calibração média, obtida por meio das calibrações realizadas para os diversos materiais, se observa que, de maneira geral, os modelos não obtiveram mesmo desempenho que para a calibração feita para cada material (Quadro 18). Embora a inclinação da equação ajustada para decomposição dos materiais vegetais por 150 dias na simulação feita pelo NDICEA tenha diferido de 1, foi o modelo que apresentou o maior valor de inclinação em relação aos demais modelos. Isso também foi observado para as equações ajustadas na liberação de N dos materiais por 150 dias. As equações ajustadas entre o valor medido e simulado de

decomposição e liberação de N durante 360 dias mostram maior grau de acurácia do APSIM, quando utilizando uma calibração para todos os materiais. Contudo, o Century e NDICEA tiveram grau de acurácia satisfatório.

Quadro 18 - Equação de regressão linear da taxa de decomposição e liberação do N observada (\hat{y}) simulado (x) pelo NDICEA, Century e APSIM, sob 150 e 360 dias de decomposição nos municípios Araponga e Pedra Dourada, respectivamente

Modelos	Equação Decomposição	R ²	Equação Liberação de N	R ²
Araponga (150 dias)				
NDICEA	$\hat{y} = 11,357 + \mathbf{0,6599x}$	0,3770	$\hat{y} = 12,251 + \mathbf{0,6504x}$	0,3011
Century	$\hat{y} = \mathbf{16,315} + \mathbf{0,5615x}$	0,4982	$\hat{y} = \mathbf{20,733} + \mathbf{0,4242x}$	0,1936
APSIM	$\hat{y} = 10,022 + \mathbf{0,5571x}$	0,2673	$\hat{y} = \mathbf{21,868} + \mathbf{0,3317x}$	0,0807
Pedra Dourada (360 dias)				
NDICEA	$\hat{y} = \mathbf{5,884} + \mathbf{0,8582x}$	0,9207	$\hat{y} = \mathbf{7,562} + \mathbf{0,7143x}$	0,7739
Century	$\hat{y} = 5,029 + \mathbf{0,8141x}$	0,7695	$\hat{y} = \mathbf{10,921} + \mathbf{0,5817x}$	0,7164
APSIM	$\hat{y} = -3,007 + 0,9188x$	0,7469	$\hat{y} = 4,037 + \mathbf{0,7161x}$	0,7535

Valores dos componentes da equação ajustada, intercepto ou inclinação, em negrito diferem estatisticamente de 0 e 1, respectivamente, à 95 % de probabilidade.

Com a calibração média para os 150 dias, todos os modelos tiveram grau de acurácia satisfatório, com desvio do simulado em relação ao medido menor que 25 % para decomposição e liberação de N dos materiais vegetais, contudo, o NDICEA apresentou melhor desempenho na descrição desses processos na crotalária e braquiária em relação aos demais modelos (com desvio do modelo em relação ao observado para decomposição de 5,74 e 10,60 % e, liberação de N de 8,95 e 16,35 %, respectivamente para crotalária e braquiária). No ingá, esse comportamento foi observado para o APSIM, simulando com desvio em relação ao observado de 10,35 % para decomposição e 21,36 % para liberação de N.

Todos os modelos com calibração média simularam com desvio menor que 15 % para decomposição e liberação de N dos materiais vegetais em relação ao observado para os 360 dias. O NDICEA simulou com maior grau de acurácia a decomposição e liberação de N em relação aos demais modelos para os materiais vegetais de mais fácil decomposição (estilosante, mucuna e amendoim forrageiro com desvio em relação ao observado de 4,64, 6,09 e 9,82 % na decomposição e, de 10,41, 7,97 e 9,18 % na liberação de N, respectivamente). Para o calapogônio, que é mais resistente a decomposição, o APSIM simulou com maior grau de acurácia a decomposição e liberação de N, com desvio em relação ao observado de 8,86 e 9,16 %, respectivamente.

Por meio dos modelos é possível verificar a efetividade do esquema proposto por Palm et al. (2001) para utilização dos materiais vegetais (Figura 1 da introdução geral). O esquema permite adotar o melhor destino a ser dado ao resíduo vegetal, entretanto, não fornece a contribuição dos resíduos no fornecimento de N, além de não permitir observar o tempo que os resíduos permanecerão no sistema. Isso é facilmente observado se utilizado como exemplo o resíduo de calapogônio submetido aos 150 dias de decomposição. No esquema de Palm et al. (2001), este material seria enquadrado na primeira categoria, sendo indicado para utilização em cultivos anuais. Em análise aos dados observados, esse realmente poderia ser utilizado para este fim, contudo, as informações se enceram na adoção de manejo a ser adotado de acordo com as características dos resíduos. Dessa forma, a utilização dos modelos pode servir como complemento à adoção do esquema proposto por Palm et al. (2001), fornecendo informações do comportamento da matéria seca e do N dos materiais vegetais.

Por fim, desde que feitas às devidas análises das condições de aplicação, a utilização de modelos pode ser útil para melhor descrever o comportamento de resíduos de plantas no solo. Isto tem várias implicações práticas, podendo ser utilizados não somente para verificar o fornecimento de nutrientes ao sistema, mas também ajudar na predição de quanto tempo estes materiais permanecerão no solo. Dessa forma, por estes fatores terem influência direta na fertilidade, disponibilidade de água e erosão, que influem em outros processos de ordem química, física e biológica, os modelos podem ser de suma importância no manejo adequado do solo.

4.2. Estercos

As correlações dos valores calibrados para os parâmetros que controlam a decomposição de todos os modelos com o teor de N, relação C/N e carboidratos solúveis totais dos esterco indicam que estes podem ser utilizados como variáveis a serem consideradas na simulação desses materiais.

A calibração para a simulação da oxidação do C dos esterco de bovino e coelho foi realizada de modo a reduzir a taxa de decomposição em relação aos demais esterco, por conterem menor quantidade de C mais facilmente biodegradável (Moral et al., 2005; Chacón, 2006).

Apesar dos modelos terem sido eficientes em simular o comportamento do C e N dos esterco, não foi encontrada relação entre a calibração de ambos, de modo a facilitar sua simulação simultânea e, conseqüentemente, sua utilização. Porém, a calibração isolada da mineralização do N se correlacionou com a capacidade dos polifenóis em complexar proteínas, assim como observado por Chacón (2006), o que pode servir como orientação na calibração.

Nesse sentido, pela alta acurácia dos dados simulados com a porcentagem de C oxidado e quantidade de N mineralizado, estas conferem aos modelos potencialidade de uso como guia da utilização desses esterco no campo. Contudo, há a necessidade de experimentos que analisem maior número de materiais para agrupá-los e, possivelmente, encontrar relação entre a calibração para oxidação do C e a mineralização do N.

4.3. Compostos

De todos os compostos, o vermicomposto chamou a atenção, pela amplitude da calibração realizada para a decomposição e mineralização do N. Para todos os modelos a calibração para simular a oxidação do C do vermicomposto foi realizada de modo a diminuir a taxa de decomposição a valores baixíssimos, em decorrência da matéria orgânica mais estabilizada. No entanto, para a mineralização do N, foi necessário aumentar o processo de decomposição, indicando que o N desse material foi rapidamente disponível.

Assim como para os esterco, devido o alto grau de acurácia dos modelos em estimar a oxidação do C e a mineralização do N, todos podem ser úteis como ferramenta na escolha e utilização desses compostos. Porém, diferente dos esterco, as variáveis que controlam a taxa de decomposição nestes modelos não apresentaram correlações significativas com sua composição química e bioquímica, correlações estas que poderiam ser utilizadas como orientação na calibração visando a simulação da decomposição e liberação de N destes materiais. Esse comportamento pode estar relacionado com o alto teor de compostos humificados no final do processo de compostagem (Bernal et al., 1998).

5. CONCLUSÕES

O Century e o APSIM, em sua calibração original (*default*), superestimaram a taxa de decomposição e liberação de N de todos os materiais vegetais. O NDICEA superestimou este processo em materiais ricos em compostos mais resistentes a decomposição. Dessa forma, para utilização desses modelos nas condições tropicais é indispensável a calibração.

A calibração dos modelos condicionou maior grau de acurácia em estimar a taxa de decomposição e liberação do N dos materiais orgânicos vegetais. Todos os modelos apresentaram alto grau de acurácia, contudo, o NDICEA foi o modelo que apresentou melhor desempenho.

Os modelos simularam com alto grau de acurácia a decomposição e mineralização do N dos esterco e compostos, contudo, foi realizada uma calibração pontual, o que dificulta extrapolações para condições de campo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDISCOTT, T.M. Critical evaluation of models and their parameters. *J. Environ. Qual.*, 24: 803-807, 1995.
- ADDISCOTT, T.M. Simulation modelling and soil behaviour. *Geoderma*, 60: 15-40, 1993.
- BAHT, K.K.S.; FLOWERS T.H.; O'CALLAGHAN, J.R. A model for the simulation of the fate of nitrogen in farm wastes on land application. *J. Agric. Sci.*, 94: 183 –193. 1980.
- BERKENKAMP, A.; PRIESACK, E.; MUNCH, J.C. Modelling the mineralisation of plant residues on the soil surface. *Agronomie*, 22: 711–722, 2002.
- BERNAL, M.P.; PAREDES, C.; SÁNCHEZ, M.M. & CEGARRA, J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Biores. Technol.*, 63:91-99, 1998.
- BREMNER, J.M. Nitrogen-Total. In: SPARKS, D.L. ed. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods*. Madison: SSSA, 1996. p. 1085-1121. (SSSA Book Series, 05).
- BRISSON, N.; MARY, B.; RIPOCHE, D.; JEUFFROY, M.H.; RUGET, F.; GATE, P. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parameterisation applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18: 311–346, 1998.
- BURGT, G.J.H.M.; OOMEN, G.J.M.; HABETS, A. S. J.; ROSSING, W.A.H. The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutr. Cycl. Agroec.*, 74: 275-294, 2006.
- CERRI, C.E.P.; PAUSTIAN, K.; BERNOUX, M.; VICTORI A, R.L.; MELILLOS, J.M.; CERRI, C.C. Modeling changes in soil organic matter in Amazon forest to pasture conversion with the Century model. *Global Change Biol.*, 10: 815–832, 2004.
- CHACÓN, E.A.V. Caracterização, decomposição e biodisponibilidade de nitrogênio e fósforo de materiais orgânicos de origem animal e vegetal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. 160p (Tese de Doutorado).
- COBO, J.G.; BARRIOS, E.; KASS, D.C.L.; THOMAS, R.J. Decomposition and nutrient release by green manures in a tropical hillside agroecosystem. *Plant Soil*, 240: 331–342, 2002.
- CONSTANTINIDES, M.; FOWNES, J.H. Nitrogen mineralization from leaves and litter of tropical plants: Relationship to nitrogen, lignin and soluble polyphenol concentrations. *Soil Biol. Biochem.*, 26:49-55, 1994.
- ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Decomposição e liberação de nutrientes acumulados em leguminosas herbáceas perenes consorciadas com bananeira. *R. Bras. Ci. Solo*, 30: 321-328, 2006.

- FINDELING, A.; GARNIER, P.; COPPENS, F.; LAFOLIE, F.; RECOUS, S. Modelling water, carbon and nitrogen dynamics in soil covered with decomposing mulch. *Eur. J. Soil Sci.*, 58: 196–206, 2007.
- FOX, R.H.; MYERS, R.J.K.; VALLIS, I. The nitrogen mineralization rate of legume residues in soil as influenced by their polyphenol, lignin, and nitrogen contents. *Plant Soil*, 129: 251-259, 1990.
- GALDOS, M. Dinâmica do carbono do solo no agroecossistema cana-de-açúcar. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. 101p. (Tese de Doutorado).
- GARNIER, P.; NEÉL, C.; AITA, C.; RECOUS, S.; LAFOLIE, F.; MARY, B. Modelling carbon and nitrogen dynamics in a bare soil with and without straw incorporation. *Europ. J. Soil Sci.*, 54, 555–568, 2003.
- HANDAYANTO, E.; GADISCH, G.; GILLER, K.E. Manipulation of quality and mineralization of tropical legume tree prunings by varying nitrogen supply. *Plant Soil*, 176: 149-160, 1995.
- HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M.; SWIFT, M.J. Plant litter quality and decomposition: an historical overview. In: CADISCH G.; GILLER K.E. eds. *Driven by nature: plant quality and decomposition*. Wallingford, CAB International, 1997.
- JANSSEN, B.H. A simple method for calculating decomposition and accumulation of ‘young’ soil organic matter. *Plant Soil*, 76: 297–304, 1984.
- JANSSEN, B.H. Nitrogen mineralisation in relation to C:N ratio and decomposability of organic materials. *Plant Soil*, 181: 39–45, 1996.
- KEATING, B.A.; CARBERRY, P.S.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.; BROWN, S.; BRISTOW, K.L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.; FREEBAIRN, D.M.; SMITH, C.J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agron.*, 18: 267- 288, 2003.
- KÖGEL, Ingrid. Estimation and decomposition pattern of the lignin component in forest humus layers. *Soil Biol. Biochem.*, 18: 589-594, 1986.
- LEITE, L.F.C. Compartimentos e dinâmica da matéria orgânica do solo sob diferentes manejos e sua simulação pelo modelo Century. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002. . 146p. (Tese de Doutorado).
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S. Modelo century de dinâmica da matéria orgânica do solo: Equações e pressupostos. *Ci. Rural*, 33: 679-686, 2003.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S. Perspectivas e limitações da modelagem da dinâmica da matéria orgânica dos solos tropicais. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M.,

- eds. Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2007. p. 181-217. (Volume 5).
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O. A. Simulação pelo modelo Century da dinâmica da matéria orgânica de um Argissolo sob adubação mineral e orgânica. R. Bras. Ci. Solo, 28: 347-358, 2004a.
- LEITE, L.F.C.; MENDONÇA, E.S.; MACHADO, P.L.O.A; FERNANDES FILHO, E.I.; NEVES, J.C.L. Simulating trends in soil organic carbon of an Acrisol under no-tillage and disc-plow systems using the Century model. Geoderma, 120: 283–295, 2004b.
- LUPWAYI, N.Z.; HAQUE, I. Mineralization of N, P, K, Ca and Mg from Sesbania and Leucaena leaves varying in chemical composition. Soil Biol. Biochem., 30:337-343, 1998.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residue and nitrogen cycling in soil. Plant Soil, 181: 71-82, 1996.
- MATOS, E.S. Ciclagem de nutrientes por leguminosas herbáceas em cafezais orgânicos. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005. 83p. (Dissertação de Mestrado).
- MELILLO, J.M.; ABER, J.D.; MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. Ecology, 63: 621–626, 1982.
- MENDONÇA, E.S.; STOTT, D.E. Characteristics and decomposition rates of pruning residues from a shaded coffee system in Southeastern Brazil. Agrofor. Systems, 57: 117-125, 2003.
- METHERELL, A.K.; HARDING, L.A.; COLE, C.V.; PARTON, W.J. Century Soil Organic Matter Model Environment. Colorado State University, 1993. 245 p.
- MOLINA, J.E.; CLAPP, C.E.; SCHAEFFER, M.J.; CHICHESTER, F.W.; LARSON, W. NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformation in soil: description, calibration and behaviour. Soil Sci. Soc. Am. J., 47: 85–91, 1983.
- MOORHEAD, D.L.; REYNOLDS, J.F. A general model of litter decomposition in the northern Chihuahuan. Desert. Ecol. Modelling, 59: 197–219, 1991.
- MORAL R.; MORENO-CASELLES J.; PEREZ-MURCIA, M.D.; PEREZ-ESPINOSA, A.; RUFETE, B.; PAREDES, C. Characterisation of the organic matter pool in manures. Biores. Technology, 96: 153-158, 2005.
- PARTON, W.J.; OJIMA, D.S.; COLE, C.V.; SCHIMEL, D.S. A general model for soil organic matter dynamics: sensitivity to litter chemistry, texture, and management. In: BRYANT, R.B.; ARNOLD, R.W., eds. Quantitative modeling of soil forming processes. Vol. Special Publication 39:147-167, 1994a.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. Soil Sci. Soc. Am. J., 51: 1173-1179, 1987.

- PARTON, W.J.; WOOMER, P.L.; MARTIN, A. Modelling soil organic matter dynamics and plant productivity in tropical ecosystems. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J., eds. The biological management of tropical soil fertility. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons. 1994b. p.171-188.
- PROBERT, M.E.; DELVE, R.J.; KIMANI, S.K.; DIMES, J.P. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C:N ratio of sub-pools. *Soil Biol. Biochem.*, 37: 279–287, 2005.
- PROBERT, M.E.; DIMES, J.P.; KEATING, B.A.; DALALB, R.C.; STRONGB, W.M. APSIM's Water and Nitrogen Modules and Simulation of the Dynamics of Water and Nitrogen in Fallow Systems. *Agricul. Systems*, 56: 1-28, 1998.
- QUEMADA, M.; CABRERA, M.; McCracken, D. Nitrogen release from surface-applied cover crop residues: evaluating the CERES-N submodel. *Agron. J.*, 89: 723–729, 1997.
- REZENDE, C.P.; CANTARUTTI, R.B.; BRAGA, J.M.; GOMIDE, J.A.; PEREIRA, J.M.; FERREIRA, E.; TARRÉ, R.; MACEDO, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; CADISCH, G.; GILLER, K.E.; BODDEY, R.M. Litter deposition and disappearance in *Brachiaria* pastures in the Atlantic Forest region of the south of Bahia, Brazil. *Nutr. Cycl. Agroec.*, 54:99-112, 1999.
- RIJTEMA, P.E.; KROES, J.G. Some results of nitrogen simulations with the model ANIMO. *Fertiliser Res.*, 27: 189 –198. 1991.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Berkeley: Blackwell Scientific Publications, 1979. 372 p.
- THOMAS, R.J.; ASAKAWA, N.M. Decomposition of leaf litter from tropical forage grasses and legumes. *Soil Biol. Biochem.*, 25:1351-1361, 1993.
- THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM-Residue. *Fie. Crops Res.*, 70: 223-232, 2001.
- VITOUSEK, P.M.; TURNER, D.H.R.; PARTON, W.J.; SANFORD, R.L. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawai'i: patterns, mechanisms, and models. *Ecology*, 75: 418-429, 1994.
- WHITMORE, A.P.; HANDAYANTO, E. Simulating the mineralization of N from crop residues en relation to residue quality. In: CADISCH G.; GILLER K. E. eds. Driven by nature: plant quality an decomposition. Wallingford: CAB International, 1997. p. 337-362.
- YANG, H.S.; JANSSEN, B.H. Relationship between substrate initial reactivity and residues ageing speed in carbon mineralization. *Plant Soil*, 239: 215–224, 2002.

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DOS MODELOS CENTURY, APSIM E NDICEA EM ESTIMAR A ABSORÇÃO DE N EM SOLO ADUBADO COM MATERIAIS ORGÂNICOS

RESUMO

Um dos grandes entraves para a utilização de materiais orgânicos como fonte de nutrientes em sistemas de produção agrícola é o conhecimento da quantidade fornecida de nutrientes que realmente está sendo disponibilizado à cultura. Avanços significativos têm sido dados com pesquisas utilizando isótopos estáveis, entretanto, se restringe a ambientes com condições controladas. Dessa forma, o uso de modelos matemáticos pode facilitar o entendimento das transformações que ocorrem com os materiais orgânicos no sistema solo-planta-atmosfera e contribuir para adoção de sistemas de manejo de adubação com fontes orgânicas. O objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar a capacidade do modelo Century, APSIM e NDICEA em simular a absorção de N pelas plantas de braquiária em solo com aplicação de diferentes fontes de materiais orgânicos utilizados na agricultura. Para isto, foram utilizados os resultados do trabalho de Chacón (2006), em que utilizou resíduo de crotalária, farinha de osso, vermicomposto e esterco de galinha e suíno para testar a recuperação do N pela braquiária aos 60, 120 e 180 dias após o transplante de cinco mudas para vasos contendo 1,5 dm³ de solo. Os modelos superestimaram a absorção de N pela braquiária com a calibração feita para a liberação/mineralização de N dos materiais orgânicos. Assim, para diminuir o desvio entre os valores de N absorvido simulado e medido, foi necessária a calibração dos modelos especificamente para a absorção de N. Depois de calibrados os modelos forneceram estimativas acuradas do N absorvido. Em relação ao medido, o NDICEA simulou com menor desvio a absorção do N proveniente da decomposição de materiais orgânico durante e ao final do tempo estabelecido para simulação.

EVALUATION OF THE CENTURY, APSIM AND NDICEA MODELS TO ESTIMATE THE N UPTAKE IN SOIL FERTILIZED WITH ORGANICS RESOURCES

ABSTRACT

One of the biggest problem to use organic materials as a resource of nutrients in agricultural production systems is to know the quantity of nutrients available to the plants. Significant advances have been done by the researchers through works with stable isotopes, however, most of the experiments are conducted in controlled environments, i.e., greenhouse. The use of mathematical models, therefore, could help to know the transformation that occurs with organics resource in the soil-plant-atmospheric systems, and to contribute to use organic materials as resource of nutrients in the soil fertilization program. Thus, the goal of this work was to evaluate the capacity and to make the parameterization of the Century, APSIM and NDICEA for simulation of N uptake released/mineralized from some organics materials. The information for model parameterization and calibration were collected in Chacón (2006). To the N uptake, the calibration of the models was performed in order to assess the growth of *Brachiaria* plants with application of five organic materials as fertilizers. The models overestimated the N uptake by *Brachiaria* plants when working with the calibration done to N mineralization of the organic materials. To increase the accuracy of the models in estimating the N uptake it was essential to do a specific calibration. After of this calibration, the NDICEA model presented the highest accuracy in estimating the N uptake by *Brachiaria* plants.

1. INTRODUÇÃO

As fontes orgânicas desempenham importante função no manejo e na construção da fertilidade do solo em sistemas agrícolas tropicais, principalmente em sistemas com baixo aporte de insumos externos a propriedade. Estes materiais orgânicos adicionados ao solo em curto prazo de tempo contribuem para o fornecimento de nutrientes as plantas cultivadas, e à longo prazo para a formação da matéria orgânica do solo (Palm et al., 2001).

Nesse sentido, em alguns sistemas agrícolas, a adição de materiais orgânicos é o principal meio de entrada de nutrientes, sobretudo nitrogênio (N), que representa um dos elementos limitantes e é requerido em grandes quantidades para o crescimento e desenvolvimento de plantas. Por estar o ciclo deste elemento intimamente ligado aos componentes orgânicos, os fatores que influenciam na taxa de decomposição desta fração do solo contribuem para sua dinâmica no sistema solo-planta. Dessa forma, são prementes ferramentas que facilitam seu entendimento, tendo em vista que a decomposição é de natureza complexa por ser influenciada por vários fatores (temperatura, precipitação, composição química e bioquímica da fonte, fertilidade do solo, dentre outros) (Swift et al., 1979; Melillo et al., 1982).

De maneira geral, a mineralização do N orgânico adicionado ao solo por meio de resíduos vegetais é rápida inicialmente, devido à decomposição dos componentes mais lábeis, contudo, diminui à medida que depende apenas dos materiais mais recalcitrantes (Mary et al., 1996; Lupwayi et al., 2004).

Em condições de campo, o N recuperado por plantas cultivadas sobre resíduos de cultivos anteriores ou adicionados ao solo varia entre 5 e 30 % (Müller & Sundman, 1988; Harris & Hesterman, 1990; Bremer & Kessel, 1992; Harris et al., 1994). Contudo, em condições mais controladas (experimento em casa de vegetação) essa recuperação pode chegar a 55 % (Azam et al., 1985; Janzen & Schaalje, 1992), sendo que Scivittaro et al. (2004) observaram que o arroz utilizou apenas 25 % do N proveniente dos resíduos de mucuna.

O N adicionado ao solo, independente da fonte orgânica, após sua mineralização pode ser absorvido pelas plantas, perdido por volatilização, desnitrificação ou lixiviação, ser imobilizado pelos microrganismos do solo ou, ainda, permanecer em sua forma original (Myers et al., 1994). Essas transformações apresentam várias vias e grande complexidade e, portanto, o uso de

modelos matemáticos pode facilitar o entendimento do seu ciclo no sistema solo-planta-atmosfera.

Na literatura são escassos os trabalhos estudando e testando a capacidade de modelos em simular a taxa de decomposição e mineralização do N de materiais orgânicos e o absorção desse nutriente pela cultura subsequente. Contudo, alguns modelos possibilitam simular todo esse processo, tais como o NCSOIL (Molina et al., 1983), Century (Parton et al., 1987), CERES-N (Quemada et al., 1997), STICS (Brisson et al., 1998), APSIM (Thorburn et al., 2001), EXPERT-N (Berkenkamp et al., 2002), PASTIS (Garnier et al., 2003) e NDICEA (Burgt et al., 2006), entre outros, possuindo suas limitações, devido à complexidade do sistema.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi calibrar e avaliar a capacidade do modelo NDICEA, Century e APSIM em simular a absorção de N pelas plantas de braquiária em solo com aplicação de diferentes fontes de materiais orgânicos utilizados na agricultura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Descrição experimental

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos da tese do Chacón (2006), extraindo-se as informações das condições experimentais, como característica de solo, do clima e composição dos materiais orgânicos.

Para avaliar a capacidade dos modelos em simular a absorção de N pelas plantas de braquiária (*Brachiaria decumbens*) em tratamentos adubados com materiais orgânicos, foram utilizados os dados referentes à sua composição e a quantidade aplicada em cada tratamento dos resíduos de crotalária, farinha de osso, esterco de galinha e suíno e, vermicomposto. Algumas características químicas e bioquímicas desses materiais são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 – Componentes químicos dos materiais orgânicos utilizados como fonte de N para a braquiária

Componente	Crotalária	Farinha de osso	Galinha	Suíno	Vermicomposto
C (dag kg ⁻¹)	46,85	30,59	31,31	41,93	13,23
N (dag kg ⁻¹)	3,42	5,55	4,03	2,74	1,03
P (dag kg ⁻¹)	0,19	10,22	1,95	1,45	0,36
S (dag kg ⁻¹)	0,13	0,26	0,35	0,39	0,19
C/N	16	6	9	18	15
C/P	637	8	41	75	95
C/S	961	314	239	287	186
K (dag kg ⁻¹)	1,36	0,19	2,90	1,82	0,16
Ca (dag kg ⁻¹)	0,81	17,89	6,72	5,61	0,91
Mg (dag kg ⁻¹)	0,25	0,35	0,46	0,99	0,22

Experimento conduzido por Chacón (2006).

A fim de avaliar o potencial de fornecimento de N desses materiais orgânicos, e a recuperação do N pela braquiária, em 1 kg de solo acondicionados em vasos de 1,5 dm³, foram aplicados 32, 49, 48, 36 e 113 gramas, respectivamente, do resíduo de crotalária, farinha de osso, esterco de galinha e suíno e vermicomposto por quilo de solo, respectivamente. Os materiais orgânicos foram dosados segundo o critério de decomposição de primeira ordem proposto por Paul & Clark (1996), cujo ponto de saturação corresponde à massa do material equivalente a 1,5 dag de C kg⁻¹ de solo seco.

Aos 60, 120 e 180 dias após o transplante de cinco plântulas, a parte aérea das plantas (folhas) foi colhida mediante cortes sucessivos, seguindo-se secagem em estufa a 65 °C. O material vegetal seco foi passado em moinho tipo Wiley com peneira de 2 mm, para determinação dos teores de N total pelo método Kjeldahl (Bremner, 1996). Esse mesmo procedimento foi repetido aos 120 e 180 dias. O N recuperado foi determinado por meio do N acumulado na parte aérea das plantas, comparativamente ao que foi aplicado nas doses dos diferentes tratamentos.

2.2. Parametrização, Calibração e Simulação dos Modelos

Na parametrização do modelo NDICEA, Century e APSIM foram utilizadas informações obtidas na tese de Chacón (2006), as condições ambientais da casa de vegetação, edáficas e a composição dos materiais. Os parâmetros dos modelos que não influenciam na liberação de N dos materiais testados e na absorção de N pelas plantas foram mantidos inalterados.

Depois de parametrizados, foi realizada a calibração dos modelos para absorção de N pela variação do parâmetro que controla a taxa de liberação/mineralização do N em cada modelo. A calibração foi realizada de modo a minimizar os desvios entre os valores obtidos das simulações e os valores observados.

2.2.1. NDICEA

No NDICEA foi utilizado como variável de entrada para quantidade e características dos materiais orgânicos a “matéria orgânica nova” (*fresh organic matter*). Assim, as principais variáveis de entrada no NDICEA para simular a liberação do N foram: temperatura, umidade, textura e pH do solo, e quantidade de material orgânico com seu teor de N. O parâmetro de calibração foi a idade inicial (*Initial Age*) do material, que tem relação direta com sua composição química e bioquímica, indicando, a taxa com que os materiais orgânicos são decompostos (Yang & Janssen, 2002). Esse parâmetro determina a quantidade de N que estará disponível as plantas.

Para simular a absorção de N pelas plantas utilizou-se o módulo cultura (*crop*) para especificar o crescimento da braquiária. O NDICEA não faz o cálculo de absorção de acordo com a liberação/mineralização do N, devendo ser feita a relação entre o N disponível e o absorvido, ou seja, neste modelo é possível verificar o quanto a cultura necessita e o quanto está sendo fornecido.

Para a parametrização do NDICEA na absorção de N fornecido pelos materiais orgânicos foram utilizados os dados de produtividade de matéria seca da braquiária, observados por Chacón (2006), estimando assim a produtividade esperada, assim como seu teor de N.

2.2.2. Century

No Century foi criado um cenário onde os materiais orgânicos foram adicionados (CLITTR no site.100). As principais variáveis de entrada foram: temperatura, precipitação, quantidade de material orgânico com seu teor de lignina e relação C/N. A calibração se restringiu ao DEC1 (1) e DEC2 (1), referentes à velocidade de decomposição do compartimento estrutural e metabólico dos resíduos, respectivamente.

No Century foi utilizado o submodelo produção de plantas, mais especificamente capim/cultura (*grass/crop*). Ao contrário do NDICEA, este modelo concilia a liberação/mineralização do N com a absorção do N pelas plantas. Assim, pela variação nos DECs, aumentando ou diminuindo a quantidade de N no sistema, foram observadas as saídas de produtividade (matéria seca). Quando esta se igualou a matéria seca observada por Chacón (2006), foi verificado o conteúdo de N nos tempos estabelecidos (60, 120 e 180 dias).

2.2.3. APSIM

No APSIM utilizou-se o módulo resíduo para entrada dos materiais orgânicos (APSIM-residuo). As principais variáveis de entrada foram: temperatura, precipitação, fator contato, quantidade de material orgânico com sua relação C/N. Sua calibração foi feita pela variável denominada “potencial de decomposição”, quanto maior, maior será a velocidade de decomposição dos materiais orgânicos.

Para o APSIM foi estabelecida a simulação de absorção de N utilizando o módulo pastagem (*Bambatsi pasture*). Meinke et al. (1998) relataram a dificuldade deste modelo em simular a produtividade, que está relacionada ao parâmetro da eficiência no uso da radiação solar. Isso foi subsídio para parametrizar a variável da eficiência no uso da radiação solar em 5, onde anteriormente era 2. Assim como no Century, este modelo concilia a liberação/mineralização do N com a absorção do N pelas plantas, fazendo com que a mudança no potencial de decomposição controle a liberação de N no sistema, que por sua vez interfere na produtividade de matéria seca das plantas. Assim, quando esta se igualou a matéria seca observada, foi registrada a quantidade de N absorvido durante este tempo.

2.3. Análise estatística

Os dados de absorção do N pelas plantas de braquiária simulados pelo NDICEA, Century e APSIM foram submetidos ao cálculo pela equação 1 (RMSE, root mean square error), para se conhecer o desvio em relação ao observado.

$$\text{RMS}_E = [\Sigma(y - \hat{y})^2/n]^{1/2} \quad (1)$$

em que: y é a variável observada; \hat{y} é o valor estimado de y ; n o número de observações.

3. RESULTADOS

A variável que controla a decomposição e, por conseguinte, a liberação de N dos materiais orgânicos no NDICEA, Century e APSIM em sua calibração para liberação/mineralização de N superestimou a absorção de N pela braquiária, exceto o Century e APSIM com aplicação do esterco de suíno, em que a absorção foi subestimada (Figura 1). Dessa forma, para diminuir o desvio entre os valores observados e simulados do N absorvido pela braquiária, foi necessário recalibrar as variáveis que controlam a decomposição nos modelos (Quadro 2).

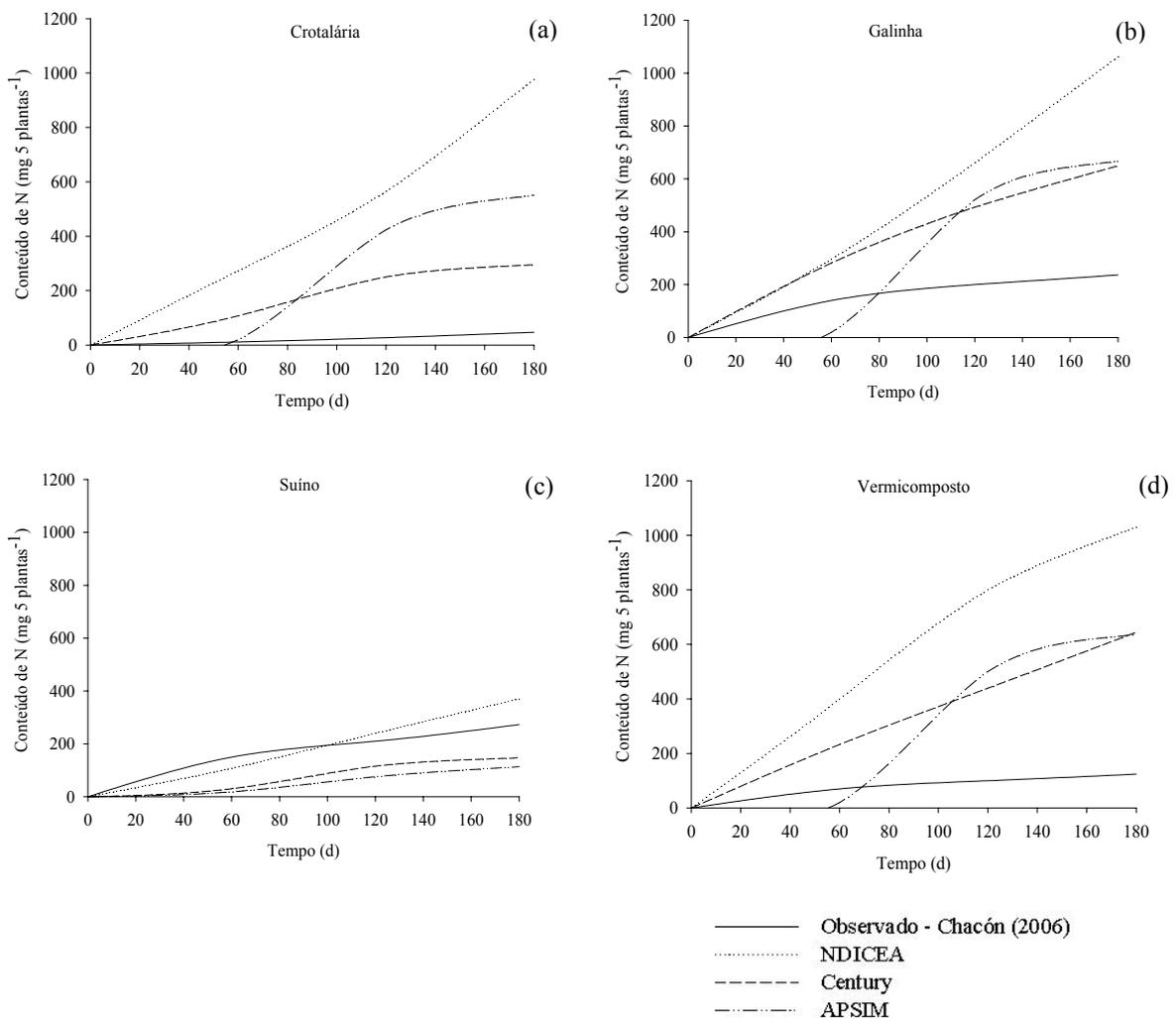


Figura 2 – Conteúdo de N observado e simulado pelo NDICEA, Century e APSIM utilizando a calibração para liberação/mineralização de N durante 180 dias de crescimento da braquiária sob adubação inicial com crotalária (a), galinha (b), suíno (c) e vermicomposto (d).

De maneira geral, para que os modelos pudessem estimar a taxa de absorção de N nos tratamentos onde os materiais orgânicos foram aplicados ao solo, a calibração dos parâmetros de cada modelo teve que ser realizada de modo a reduzir o processo de liberação/mineralização do N dos materiais.

Quadro 2 – Calibração dos parâmetros do NDICEA, Century e APSIM para liberação/mineralização do N dos materiais orgânicos e a calibração do mesmo parâmetro para a absorção do N

Material Orgânico	NDICEA		Century				APSIM	
	Lib/Min	Absorção	dec1	dec2	dec1	dec2	Lib/Min	Absorção
			Lib/Min	Absorção	Lib/Min	Absorção		
Crotalária	0,54	18,00	3,9	9,8	0,01	0,019	0,0300	0,000408
Farinha de Osso	ND	11,90	ND		0,01	0,089	ND	0,000319
Galinha	1,14	10,00	2,9	5,8	0,01	0,121	0,0068	0,001552
Suíno	1,41	4,71	1,9	3,8	0,09	0,449	0,0026	0,009520
Vermicomposto	0,53	3,29	3,9	9,8	0,01	0,089	0,0450	0,004730

Lib/Min = calibração realizada para descrever a liberação ou mineralização do N. ND = Não determinado.

Depois dos modelos calibrados, o NDICEA foi o que apresentou, para todos os materiais orgânicos, o menor desvio (RSME) da absorção do N simulado em relação ao observado durante os 180 dias (Figura 2). Ressalta-se que este modelo, em todos os materiais orgânicos, aos 180 dias estimou a absorção de N com menor desvio em relação ao N absorvido medido (Quadro 3), exceto no tratamento com aplicação da crotalária. Contrariamente, à exceção da crotalária, nos demais tratamentos, aos 120 dias o NDICEA apresentou maior desvio em relação ao N absorvido medido.

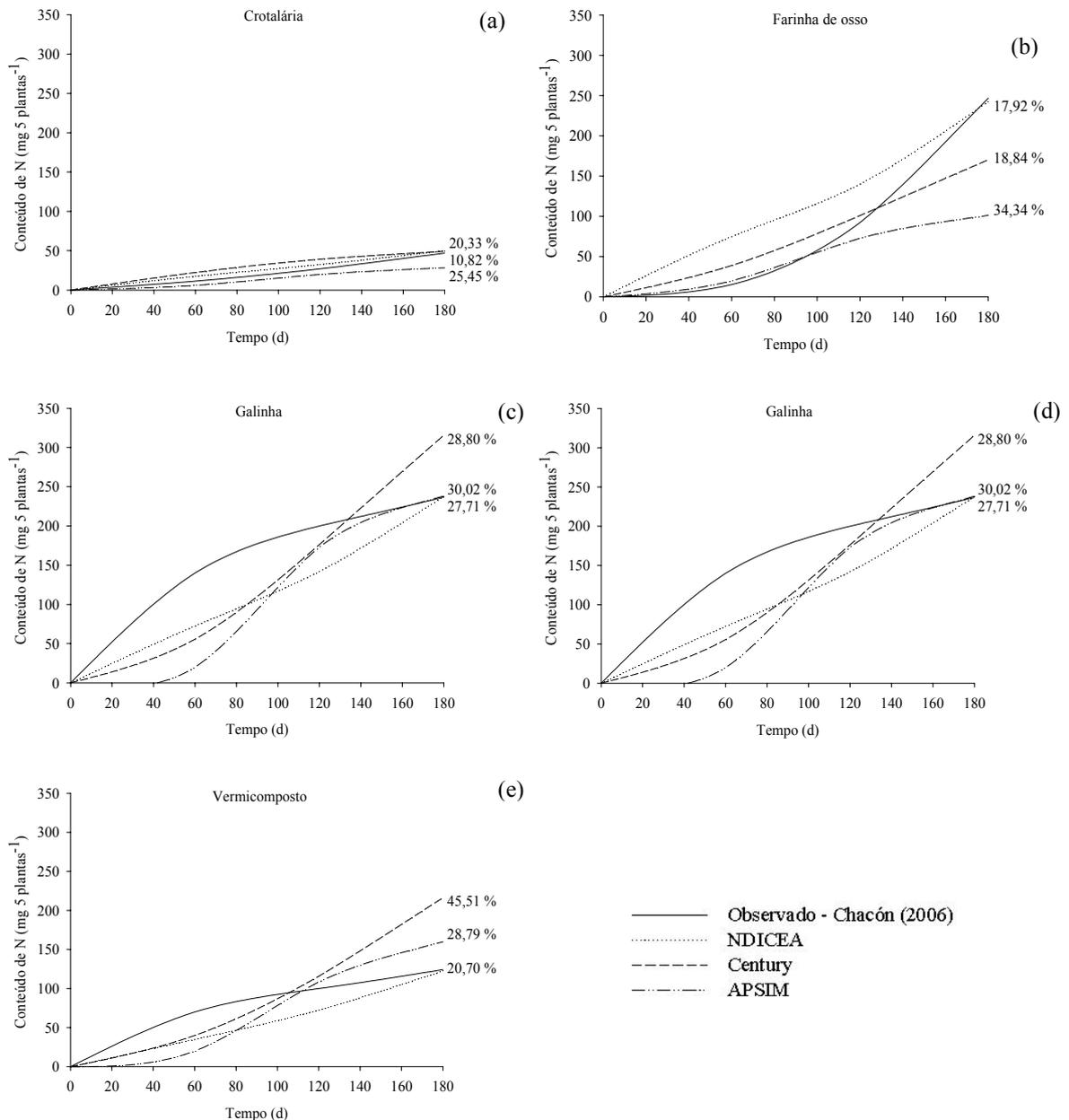


Figura 2 – Conteúdo de N observado e simulado pelo NDICEA, Century e APSIM utilizando a calibração para absorção de N durante 180 dias de crescimento da braquiária sob adubação inicial com crotalária (a), farinha de osso (b), galinha (c), suíno (d) e vermicomposto (e). Os percentuais ao lado das linhas correspondem aos respectivos desvios da absorção de N simulada durante os 180 dias em relação a medida.

Com exceção do vermicomposto, para os demais materiais orgânicos o APSIM simulou a absorção de N com menor grau de acurácia ao longo dos 180 dias, com desvio (RSME) em relação ao observado de 25,45 %, 34,34 %, 30,02 % e 27,62 % para a crotalária, a farinha de

osso, o esterco de galinha e de suíno, respectivamente. Aos 120 dias, o APSIM estimou a absorção com satisfatório nível de acurácia, apresentando desvio menor ou intermediário em relação a estimativa do N absorvido feita pelos demais modelos.

Quadro 3 – Desvio (RMSE) por etapas (60, 120 e 180 dias) da absorção de N simulada pelo NDICEA, Century e APSIM em relação ao valor observado¹ para a braquiária submetida a adubação com materiais orgânicos

Material orgânico	Amostragem (d)	NDICEA	%	
			Century	APSIM
Crotalaria	60	<i>13,06</i>	<u>23,28</u>	11,49
	120	11,78	<u>25,94</u>	<i>15,27</i>
	180	<i>6,50</i>	4,94	<u>39,72</u>
Farinha de osso	60	<u>24,21</u>	<i>9,62</i>	1,91
	120	<u>19,34</u>	3,54	<i>7,89</i>
	180	1,74	<i>30,98</i>	<u>58,92</u>
Galinha	60	28,52	<i>35,68</i>	<u>50,72</u>
	120	<u>24,51</u>	10,04	<i>11,38</i>
	180	0,35	<u>33,37</u>	<i>0,67</i>
Suíno	60	25,67	<i>36,54</i>	<u>47,68</u>
	120	<u>20,18</u>	<i>14,01</i>	2,37
	180	0,15	<u>21,21</u>	<i>3,39</i>
Vermicomposto	60	<i>28,16</i>	24,20	<u>40,28</u>
	120	<u>22,13</u>	<i>12,67</i>	6,76
	180	1,42	<u>73,94</u>	<i>28,63</i>

¹Resultados observados por Chacón (2006). Valores em negrito, itálico ou sublinhados possuem menor, intermediário e maior desvio em relação ao valor observado, respectivamente.

Ao final dos 180 dias, observou-se que em relação ao medido, o Century superestimou a absorção do N em todos os tratamentos, exceto para farinha de osso, contudo, para os 60 e 120 dias este modelo apresentou com freqüência desvio intermediário.

4. DISCUSSÃO

A capacidade e limitações dos modelos em simular a absorção de N ao longo dos 180 dias com a aplicação de fontes orgânicas foram identificadas. A mesma calibração realizada para liberação/mineralização do N dos materiais orgânicos deveria ser utilizada para a absorção de N, por considerar que o elemento estaria disponível para planta e que os respectivos modelos computariam as perdas ou os diversos caminhos que este pode tomar no sistema solo-planta-atmosfera. Contudo, isso não ocorreu, sugerindo que os modelos contabilizam todo o N liberado/mineralizado dos materiais orgânicos, como disponível para as plantas, simulando insatisfatoriamente o comportamento desse nutriente no solo. Apesar de este estudo sugerir isto, há vários trabalhos que validaram estes modelos na simulação do comportamento do N nos solos. Burgt et al. (2006) observaram que o NDICEA simulou a dinâmica de N no solo com acurácia depois de calibrado, assim como Smith et al. (1997) observaram para o Century e, Probert et al. (1998), Carberry et al. (2002), Keating et al. (2003), Probert et al. (2005) e Malone et al. (2007) observaram para o APSIM. Ressalta-se que estes trabalhos testaram e observaram a capacidade desses modelos em simular a dinâmica do N no solo, e não o sincronismo da liberação/mineralização do N dos materiais orgânicos e sua utilização pela cultura subsequente, que é o ponto chave para utilização desses materiais em sistemas de produção agrícola (Myers et al., 1994; Palm et al., 2001; Singh et al., 2001).

As mudanças realizadas nos parâmetros de decomposição do NDICEA, Century e APSIM, para diminuir os desvios entre os valores de N absorvido simulado e medido podem ser suprimidas com a adição de parâmetros que determinam a eficiência de recuperação do N pela cultura, subsequente à aplicação de materiais orgânicos no sistema, que há muito tem sido pesquisado para condições controladas (Azam et al., 1985; Müller & Sundman, 1988; Harris & Hesterman, 1990; Ta & Faris, 1990; Bremer & Kessel, 1992; Janzen & Schaalje, 1992; Harris et al., 1994; Scivittaro et al., 2004).. Dessa forma, os resultados dessas pesquisas podem ser incorporados nos cálculos de absorção proposta pelos modelos estudados.

A título de exemplo, foi calculado o total de N absorvido quando se calibrou os modelos para absorção de N sob adubação de esterco de galinha, e este representou 7,54 % no NDICEA, 4,86 % no Century e 35,71 % no APSIM, do total de N acumulado quando os modelos foram calibrados para liberação/mineralização do N. Os modelos deveriam simular o total de N real na

planta com a calibração de mineralização, o que não ocorreu, sugerindo que se utilizada a calibração para mineralização do N das fontes orgânicas estará incorrendo em simulação insatisfatória para absorção.

O NDICEA foi o modelo, depois de calibrado, que simulou com maior acurácia a absorção do N sob aplicação dos materiais orgânicos. Sua estrutura possibilita ter maior desempenho em simular a absorção de N oriundo da liberação e mineralização dos materiais orgânicos, pois exige a quantidade produzida (kg ha^{-1}) ao final do período estipulado, assim como o teor de N, fazendo com que este simule com maior acurácia o conteúdo final de N acumulado nas plantas. Por outro lado, o Century e o APSIM, conciliam a absorção juntamente com a liberação/mineralização do N dos materiais orgânicos, o que pode ter dificultado que esses modelos tivessem o mesmo desempenho do NDICEA.

Contudo, são necessários trabalhos que avaliem o sincronismo do fornecimento e demanda de nutrientes pelas plantas no manejo de sistemas agrícolas tropical, sobretudo em cultivos anuais de pequenas propriedades, que têm maior dependência do aporte orgânico para a disponibilização de nutrientes para as plantas. Isto será possível com a utilização de métodos modernos, como a utilização de isótopos estáveis e a extrapolação de experimentos que até então têm sido desenvolvidos em locais com condições controladas (casa de vegetação e laboratório) para o campo, onde os fatores que controlam as transformações no sistema solo-planta são mais abundantes, tornando sua compreensão mais complexa. A partir disso, modelos podem ser parametrizados e calibrados para serem utilizados no auxílio da melhor forma de manejo a ser adotada, de modo que o sincronismo do fornecimento e demanda de nutrientes nestes agroecossistemas funcionem mais eficientemente.

5. CONCLUSÕES

A calibração realizada nos modelos para liberação/mineralização de N dos materiais orgânicos superestimou a absorção de N nas plantas de braquiária. Dessa forma, a calibração para a absorção de N pelas plantas em solo adubado com fontes orgânicas foi diferente da calibração realizada para liberação/mineralização de N dos materiais orgânicos.

Depois de calibrados os modelos forneceram estimativas acuradas do N absorvido, contudo, o NDICEA obteve maior desempenho.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZAM, F.; MALIK, K.A.; SAJJAD, M.I. Transformations in soil and availability to plants of ^{15}N applied as inorganic fertilizer and legume residues. *Plant Soil*, 86: 3-13, 1985.
- BERKENKAMP, A.; PRIESACK, E.; MUNCH, J.C. Modelling the mineralisation of plant residues on the soil surface. *Agronomie*, 22: 711–722, 2002.
- BREMER, E.; KESSEL, C. Plant-available nitrogen from lentil and wheat residues during a subsequent growing season. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56: 1155-1160, 1992.
- BREMNER, J.M. Nitrogen-Total. In: SPARKS, D.L. ed. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical Methods*. Madison: SSSA, 1996. p. 1085-1121. (SSSA Book Series, 05).
- BRISSON, N.; MARY, B.; RIPOCHE, D.; JEUFFROY, M.H.; RUGET, F.; GATE, P. STICS: a generic model for the simulation of crops and their water and nitrogen balance. I. Theory and parameterisation applied to wheat and corn. *Agronomie*, 18: 311–346, 1998.
- BURGT, G.J.H.M.; OOMEN, G.J.M.; HABETS, A. S. J.; ROSSING, W.A.H. The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems. *Nutr. Cycl. Agroec.*, 74: 275-294, 2006.
- CARBERRY, P.S.; PROBERT, M.E.; DIMES, J.P.; KEATING, B.A.; MCCOWN, R.L. Role of modelling in improving nutrient efficiency in cropping systems. *Plant Soil*, 245: 193–203, 2002.
- CHACÓN, E.A.V. Caracterização, decomposição e biodisponibilidade de nitrogênio e fósforo de materiais orgânicos de origem animal e vegetal. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006. 160p (Tese de Doutorado).
- GARNIER, P.; NEÉL, C.; AITA, C.; RECOUS, S.; LAFOLIE, F.; MARY, B. Modelling carbon and nitrogen dynamics in a bare soil with and without straw incorporation. *Eur. J. Soil Sci.*, 54, 555–568, 2003.
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B. Quantifying the nitrogen contribution from alfafa to soil and two succeeding crops using nitrogen-15. *Agron. J.*, 82: 129-134, 1990.
- HARRIS, G.H.; HESTERMAN, O.B.; PAUL, E.A.; PETERS, S.E.; JANKE, R.R. Fate of legume and fertilizer nitrogen-15 in a long term cropping systems experiment. *Agron. J.*, 86: 910-915, 1994.
- JANZEN, H.H.; SCHAALJE, G.B. Barley response to nitrogen and nonnutritional benefits of legume green manure. *Plant Soil*, 142: 19-30, 1992.
- KEATING, B.A.; CARBERRY, P.S.; HAMMER, G.L.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, M.J.; HOLZWORTH, D.; HUTH, N.I.; HARGREAVES, J.N.G.; MEINKE, H.; HOCHMAN, Z.; MCLEAN, G.; VERBURG, K.; SNOW, V.; DIMES, J.P.; SILBURN, M.; WANG, E.;

- BROWN, S.; BRISTOW, K.L.; ASSENG, S.; CHAPMAN, S.; MCCOWN, R.L.; FREEBAIRN, D.M.; SMITH, C.J. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agronomy*, 18: 267-288, 2003.
- KIRSCHBAUM, M.U.F.; PAUL, K.I. Modelling C and N dynamics in forest soils with a modified version of the Century model. *Soil Biol. Biochem.*, 34: 341-354, 2002.
- LUPWAYI, N.Z.; CLAYTON, G.W.; DONOVAN, J.T.; HARKER, K.N.; TURKINGTON, T.K.; RICE, W.A. Decomposition of crop residues under conventional and zero tillage. *Canad. J. Soil Sci.*, 84: 403-410, 2004.
- MALONE, R.W.; HUTH, N.; CARBERRY, P.S.; MA, L.; KASPAR, T.C.; KARLEN, D.L.; MEADE, T.; KANWAR, R.S.; HEILMAN, P. Evaluating and predicting agricultural management effects under tile drainage using modified APSIM. *Geoderma*, 140: 310–322, 2007.
- MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D.; ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residue and nitrogen cycling in soil. *Plant Soil*, 181: 71-82, 1996.
- MEINKE, H.; RABBINGE, R.; HAMMER, G.L.; KEULEN, H.; JAMIESON, P.D. Improving wheat simulation capabilities in Australia from a cropping systems perspective: II. Testing simulation capabilities of wheat growth. *Eur. J. Agronomy*, 8: 83-99, 1998.
- MELILLO, J.M., ABER, J.D., MURATORE, J.F. Nitrogen and lignin control of hardwood leaf litter decomposition dynamics. *Ecology*, 63: 621–626, 1982.
- MOLINA, J.E.; CLAPP, C.E.; SCHAEFFER, M.J.; CHICHESTER, F.W.; LARSON, W. NCSOIL, a model of nitrogen and carbon transformation in soil: description, calibration and behaviour. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 85–91, 1983.
- MÜLLER, M.M.; SUNDMAN, V. The fate of nitrogen (¹⁵N) released from different plant materials during decomposition under field conditions. *Plant Soil*, 105: 133-139, 1988.
- MYERS, R.J.K.; PALM, C.A.; CUEVAS, E.; GUNATILLEKE, I.U.N.; BROSSARD, M. The synchronisation of nutrient mineralization and plant nutrient demand. In: WOOMER, P.L.; SWIFT, M.J., eds. *The biological management of tropical soil fertility*. Chichester, West Sussex, UK: John Wiley & Sons. 1994. p.81-116.
- PALM, C.A.; CATHERINE, C.N.; DELVE, R.J.; CADISCH, G.; GILLER, K.E. Organic inputs for soil fertility management in tropical agroecosystems: application of an organic resource database. *Agricul. Ecosys. and Environ.*, 83: 27-42, 2001.
- PROBERT, M.E.; DELVE, R.J.; KIMANI, S.K.; DIMES, J.P. Modelling nitrogen mineralization from manures: representing quality aspects by varying C:N ratio of sub-pools. *Soil Biol. Biochem.*, 37: 279–287, 2005.

- PROBERT, M.E.; DIMES, J.P.; KEATING, B.A.; DALAL, R.C.; STRONG, W.M. APSIM's water and nitrogen modules and simulation of the dynamics of water and nitrogen in fallow systems. *Agricultural Systems*, 56: 1-28, 1998.
- QUEMADA, M.; CABRERA, M.; McCracken, D. Nitrogen release from surface-applied cover crop residues: evaluating the CERES-N submodel. *Agron. J.*, 89: 723-729, 1997.
- SCIVITTARO, W.B.; MURAOKA, T.; BOARETTO, A.E.; TRIVELIN, P.C.O. Fate of nitrogen (¹⁵N) from velvet bean in the soil-plant system. *Scientia Agricola*, 61: 210-215, 2004.
- SINGH, U.; GILLER, K.E.; PALM, C.A.; LADHA, J.K.; BREMAN, H. Synchronizing N release from organic residues: opportunities for integrated management of N. *The Scientific World*, 1: 880-886, 2001.
- SMITH, P.; SMITH, J.U.; POWLSON, D.S.; MCGILL, W.B.; ARAH, J.R.M.; CHERTOV, O.G.; COLEMAN, K.; FRANKO, U.; FROLKING, S.; JENKINSON, D.S.; JENSEN, L.S.; KELLY, R.H.; KLEIN-GUNNEWIEK, H.; KOMAROV, A.S.; LI, C.; MOLINA, J.A.E. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81: 153-225, 1997.
- SWIFT, M.J.; HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Berkeley: Blackwell Scientific Publications, 1979. 372 p.
- TA, T.C.; FARIS, M.A. Availability of N from ¹⁵N-labeled alfalfa residues to three succeeding barley crops under field conditions. *Soil Biol. Biochem.*, 22: 835-838, 1990.
- THORBURN, P.J.; PROBERT, M.E.; ROBERTSON, F.A. Modelling decomposition of sugar cane surface residues with APSIM-Residue. *Field Crops Res.*, 70: 223-232, 2001.
- YANG, H.S.; JANSSEN, B.H. Relationship between substrate initial reactivity and residues ageing speed in carbon mineralization. *Plant Soil*, 239: 215-224, 2002.
- PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. Analysis of factors controlling soil organic matter levels in great plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51: 1173-1179, 1987.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados observados com as simulações da decomposição e liberação/mineralização de N dos materiais orgânicos vegetais, esterco e compostos, assim como a absorção de N pela braquiária em solo adubado com materiais orgânicos possibilitaram identificar a eficiência e limitações dos modelos Century, APSIM e NDICEA em simular estes processos em condições controladas e de campo.

A parametrização para as condições ambientais estudadas levou o Century e APSIM, em sua calibração original (*default*), a superestimar a taxa de decomposição e liberação de N dos materiais vegetais. O NDICEA superestimou este processo em materiais ricos em compostos resistentes a decomposição. Dessa forma, para utilização desses modelos nestas condições é indispensável a calibração.

A calibração dos modelos condicionou maior grau de acurácia em estimar a taxa de decomposição e liberação do N dos materiais orgânicos vegetais. O NDICEA, pelos testes de calibração, sensibilidade e validação, se mostrou o modelo com maior grau de acurácia para descrever a decomposição e liberação de N dos materiais vegetais nas condições estudadas. Mesmo que criado para simulação de médio à longo prazo, o Century pode se constituir em importante ferramenta para estimar a constante k e o tempo de meia vida da decomposição e liberação de N dos materiais vegetais para as condições estabelecidas de clima tropical. Trabalhos futuros são necessários, abrangendo maior diversidade de materiais orgânicos e ambientes naturais, fazendo com que o(s) modelo(s) seja(m) cada vez mais consolidado(s) para predição do comportamento de fontes orgânicas no campo.

Apesar de ter sido realizada calibração pontual, os modelos simularam com alto grau de acurácia a decomposição e mineralização do N dos esterco e compostos, podendo ser úteis para utilização desses materiais orgânicos na agricultura. Contudo, pelos modelos terem sido calibrados para experimentos em condições controladas, a extrapolação desses resultados pode

levar à predições incertas, havendo assim a necessidade de estudos posteriores para as condições de campo.

Quanto a absorção de N, os modelos tiveram menor capacidade em simular o comportamento do N no sistema solo-planta, por apresentarem calibrações diferentes para a liberação/mineralização do N e absorção desse nutriente pelas plantas. Depois de calibrados os modelos forneceram estimativas acuradas do N absorvido. Em relação ao medido, o NDICEA simulou com menor desvio a absorção do N durante e ao final do tempo estabelecido para simulação. Não obstante, este trabalho representa uma contribuição inicial, mostrando a premência de trabalhos a campo para consolidação dos modelos. A partir disso, modelos poderão ser utilizados no auxílio da melhor forma de manejo a ser adotada, de modo que o sincronismo do fornecimento e demanda de nutrientes nestes agroecossistemas funcione com maior eficiência

APÊNDICE

Apêndice 1 – Exemplo dos valores dos parâmetros de um cenário criado para simulação do NDICEA na decomposição e liberação/mineralização do N dos materiais orgânicos e absorção de N pela braquiária

Parâmetro cenário

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Begin Year (-)	1	DM (%)	100
Begin Week (-)	1	OM (%)	100
Length (week)	26	<u>N (%)</u>	<u>3.94</u>
ET Bare soil (-)	0.5	P2O (%)	0.0
MWU fraction (-)	0.75	K2O (%)	0.0
<u>Soil pH TopSoil</u>	<u>4.57</u>	<u>I_{Age} (-)</u>	<u>0.74</u>
C/N Micro-Organisms (-)	8.5	Nm (%)	0.0
Ass/Diss Ratio (-)	0.5	Type (-)	3
Deposition (kg ha ⁻¹ ano ⁻¹)			
N	0.0		
P2O	0.0		
K2O	0.0		
Fixation Ceiling (kg ha ⁻¹)	0.0	Parâmetro Cultura	
Denitrif. Threshold (kg ha ⁻¹)	0.0	Year (-)	1
Denitrif. Factor (-)	0.0	Sow (-)	1
Water Table (Max–Min)		FulC (-)	1
Week (-)	1-26	Ripe (week)	26
Level (cm)	0-0	Harv (week)	26
Ncont (mg L ⁻¹)	0-0	<u>Yield (kg ha⁻¹)</u>	<u>2800</u>
		DM (%)	100
Parâmetro Solo		NFix (%)	0
SMO	0.36	Code (-)	5
GAM cm ²	0.029	Braquiária	
CRc cm	99.2	Dry Matter Distributin	
CRx cm	22.4	Product (-)	1
<u>Texture Factor (-)</u>	<u>1</u>	Residue (-)	1
N Leachin Factor (-)	1	<u>N content DM (%)</u>	<u>1.35</u>
ByPass Flow Threshold (mm week ⁻¹)	35	Reference Crop ET (-)	2.00
ByPass Flow Factor (-)	0.0	Rooting Depth (cm)	20
Parâmetro Aplicação		Parâmetro ambiente	
Fresh Organic Matter		<u>Temp</u>	
Year (-)	1	<u>Rain</u>	
Week (-)	1	<u>ET</u>	
<u>Quant. (kg ha⁻¹)</u>	<u>1000</u>		

Parâmetros sublinhados foram ajustados para cada cenário, de acordo com as características de solo, clima e material orgânico e/ou absorção de N pela cultura.

Apêndice 2 – Exemplo de um cenário criado no Century para decomposição e liberação de N dos materiais e absorção de N, assim como, os arquivos referentes aos parâmetros para simulação desse cenário

EVENT.100		25.00000	'PRECIP(11)'	25.0000	'TMX2M(7)'
2004	Starting year	25.00000	'PRECIP(12)'	25.0000	'TMX2M(8)'
2004	Last year	0.000	'PRCSTD(1)'	25.0000	'TMX2M(9)'
crota.100	Site file name	0.000	'PRCSTD(2)'	25.0000	'TMX2M(10)'
0	Labeling type	0.00	'PRCSTD(3)'	25.0000	'TMX2M(11)'
-1	Labeling year	0.000	'PRCSTD(4)'	25.0000	'TMX2M(12)'
-1.00	Microcosm	0.000	'PRCSTD(5)'	***	Site and control
-1	CO2 Systems	0.000	'PRCSTD(6)'		parameters
-1	pH shift	0.000	'PRCSTD(7)'	0.00000	'IVAUTO'
-1	Soil warming	0.000	'PRCSTD(8)'	1.00000	'NELEM'
0	N input scalar option	0.000	'PRCSTD(9)'	20.380000	'SITLAT'
0	OMAD scalar option	0.000	'PRCSTD(10)'	42.310000	'SITLNG'
1	Initial system	0.000	'PRCSTD(11)'	0.390000	'SAND'
PBQ	Initial crop	0.000	'PRCSTD(12)'	0.09000	'SILT'
	Initial tree	0.00000	'PRCSKW(1)'	0.52000	'CLAY'
		0.00000	'PRCSKW(2)'	0.00000	'ROCK'
Year Month Option		0.00000	'PRCSKW(3)'	0.82000	'BULKD'
1	Block # Mucuna	0.00000	'PRCSKW(4)'	4.00000	'NLAYER'
preta araponga		0.00000	'PRCSKW(5)'	4.00000	'NLAYPG'
2004	Last year	0.00000	'PRCSKW(6)'	1.00000	'DRAIN'
1	Repeats # years	0.00000	'PRCSKW(7)'	0.00000	'BASEF'
2004	Output starting year	0.00000	'PRCSKW(8)'	0.00000	'STORMF'
1	Output month	0.00000	'PRCSKW(9)'	0.00000	'PRECRO'
1	Output interval	0.00000	'PRCSKW(10)'	0.00000	'FRACRO'
M	Weather choice	0.00000	'PRCSKW(11)'	0.00000	'SWFLAG'
1 1 CROP		0.00000	'PRCSKW(12)'	0.00000	'AWILT(1)'
PBQ		25.00000	'TMN2M(1)'	0.00000	'AWILT(2)'
1 1 FRST		25.00000	'TMN2M(2)'	0.00000	'AWILT(3)'
-999 -999 X		25.00000	'TMN2M(3)'	0.00000	'AWILT(4)'
		25.00000	'TMN2M(4)'	0.00000	'AWILT(5)'
SITE.100		25.00000	'TMN2M(5)'	0.00000	'AWILT(6)'
AL	EXEMPLO	25.00000	'TMN2M(6)'	0.00000	'AWILT(7)'
***	Climate parameters	25.00000	'TMN2M(7)'	0.00000	'AWILT(8)'
25.0000	'PRECIP(1)'	25.00000	'TMN2M(8)'	0.00000	'AWILT(9)'
25.00000	'PRECIP(2)'	25.00000	'TMN2M(9)'	0.00000	'AWILT(10)'
25.00000	'PRECIP(3)'	25.00000	'TMN2M(10)'	0.230000	'AFIEL(1)'
25.000000	'PRECIP(4)'	25.00000	'TMN2M(11)'	0.230000	'AFIEL(2)'
25.000000	'PRECIP(5)'	25.00000	'TMN2M(12)'	0.230000	'AFIEL(3)'
25.000000	'PRECIP(6)'	25.00000	'TMX2M(1)'	0.230000	'AFIEL(4)'
25.000000	'PRECIP(7)'	25.0000	'TMX2M(2)'	0.230000	'AFIEL(5)'
25.000000	'PRECIP(8)'	25.0000	'TMX2M(3)'	0.230000	'AFIEL(6)'
25.000000	'PRECIP(9)'	25.0000	'TMX2M(4)'	0.230000	'AFIEL(7)'
25.00000	'PRECIP(10)'	25.0000	'TMX2M(5)'	0.230000	'AFIEL(8)'
		25.0000	'TMX2M(6)'	0.230000	'AFIEL(9)'

0.23000	'AFIEL(10)'	0.00000	'AGLCIS(2)'	0.00000	'WD3CIS(2)'
4.82000	'PH'	0.0000000	'AGLIVE(1)'	***	Mineral initial
0.00000	'PSLSRB'	0.00000	'AGLIVE(2)'	parameters	
200.000	'SORPMX'	0.00000	'AGLIVE(3)'	0.3350000	'MINERL(1,1)'
*** External nutrient input		0.0000000	'BGLCIS(1)'	0.00000	'MINERL(2,1)'
parameters		0.00000	'BGLCIS(2)'	0.00000	'MINERL(3,1)'
0.00000	'EPNFA(1)'	0.000000	'BGLIVE(1)'	0.00000	'MINERL(4,1)'
0.0000	'EPNFA(2)'	0.00000	'BGLIVE(2)'	0.00000	'MINERL(5,1)'
0.00000	'EPNFS(1)'	0.00000	'BGLIVE(3)'	0.00000	'MINERL(6,1)'
0.00000	'EPNFS(2)'	0.000000	'STDCIS(1)'	0.00000	'MINERL(7,1)'
0.00000	'SATMOS(1)'	0.00000	'STDCIS(2)'	0.00000	'MINERL(8,1)'
0.00000	'SATMOS(2)'	0.00000	'STDEDE(1)'	0.00000	'MINERL(9,1)'
0.00000	'SIRRI'	0.00000	'STDEDE(2)'	0.00000	'MINERL(10,1)'
*** Organic matter initial		0.00000	'STDEDE(3)'	0.00000	'MINERL(1,2)'
values		*** Forest organic matter		0.000	'MINERL(2,2)'
0.00000	'SOM1CI(1,1)'	initial parameters		0.000	'MINERL(3,2)'
0.00000	'SOM1CI(1,2)'	0.00000	'RLVCIS(1)'	0.000	'MINERL(4,2)'
0.000000	'SOM1CI(2,1)'	0.00000	'RLVCIS(2)'	0.0000	'MINERL(5,2)'
0.00000	'SOM1CI(2,2)'	0.00000	'RLEAVE(1)'	0.00000	'MINERL(6,2)'
0.00000	'SOM2CI(1)'	0.00000	'RLEAVE(2)'	0.00000	'MINERL(7,2)'
0.00000	'SOM2CI(2)'	0.00000	'RLEAVE(3)'	0.00000	'MINERL(8,2)'
0.00000	'SOM3CI(1)'	0.00000	'FBRCIS(1)'	0.00000	'MINERL(9,2)'
0.00000	'SOM3CI(2)'	0.00000	'FBRCIS(2)'	0.00000	'MINERL(10,2)'
0.00000	'RCES1(1,1)'	0.00000	'FBRCHE(1)'	0.000000	'MINERL(1,3)'
0.00000	'RCES1(1,2)'	0.00000	'FBRCHE(2)'	0.00000	'MINERL(2,3)'
0.00000	'RCES1(1,3)'	0.00000	'FBRCHE(3)'	0.00000	'MINERL(3,3)'
0.00000	'RCES1(2,1)'	0.00000	'RLWCIS(1)'	0.00000	'MINERL(4,3)'
0.00000	'RCES1(2,2)'	0.00000	'RLWCIS(2)'	0.00000	'MINERL(5,3)'
0.00000	'RCES1(2,3)'	0.00000	'RLWODE(1)'	0.00000	'MINERL(6,3)'
0.00000	'RCES2(1)'	0.00000	'RLWODE(2)'	0.00000	'MINERL(7,3)'
0.00000	'RCES2(2)'	0.00000	'RLWODE(3)'	0.00000	'MINERL(8,3)'
0.00000	'RCES2(3)'	0.00000	'FRTCIS(1)'	0.00000	'MINERL(9,3)'
0.00000	'RCES3(1)'	0.00000	'FRTCIS(2)'	0.00000	'MINERL(10,3)'
0.00000	'RCES3(2)'	0.00000	'FROOTE(1)'	0.00000	'PARENT(1)'
0.00000	'RCES3(3)'	0.00000	'FROOTE(2)'	0.00000	'PARENT(2)'
480.0000	'CLITTR(1,1)'	0.00000	'FROOTE(3)'	0.00000	'PARENT(3)'
0.00000	'CLITTR(1,2)'	0.00000	'CRTICIS(1)'	0.00000	'SECNDY(1)'
0.000001	'CLITTR(2,1)'	0.00000	'CRTICIS(2)'	0.00000	'SECNDY(2)'
0.000000	'CLITTR(2,2)'	0.00000	'CROOTE(1)'	0.00000	'SECNDY(3)'
16.00000	'RCELIT(1,1)'	0.00000	'CROOTE(2)'	0.00000	'OCCLUD'
637.0000	'RCELIT(1,2)'	0.00000	'CROOTE(3)'	*** Water initial parameters	
961.0000	'RCELIT(1,3)'	0.00000	'WD1CIS(1)'	0.00000	'RWCF(1)'
0.000000	'RCELIT(2,1)'	0.00000	'WD1CIS(2)'	0.00000	'CKMRSPMX(2)'
0.00000	'RCELIT(2,2)'	0.00000	'WD2CIS(1)'	0.25000	'NO3PREF(1)'
0.00000	'RCELIT(2,3)'	0.00000	'WD2CIS(2)'	4.00000	'CLAYPG'
0.00000000	'AGLCIS(1)'	0.00000	'WD3CIS(1)'	10.0000	'TMPGERM'

0.00000	'RWCF(2)'	60.00000	'PRBMN(1,1)'	900.000	'DDHARV'
0.00000	'RWCF(3)'	390.00000	'PRBMN(2,1)'	7.00000	'TMPKILL'
0.00000	'RWCF(4)'	340.00000	'PRBMN(3,1)'		
0.00000	'RWCF(5)'	0.00000	'PRBMN(1,2)'	FIX.100	
0.00000	'RWCF(6)'	0.00000	'PRBMN(2,2)'	X Fixed_values	
0.00000	'RWCF(7)'	0.00000	'PRBMN(3,2)'	5.00000	'ADEP(1)'
0.00000	'RWCF(8)'	80.00000	'PRBMX(1,1)'	10.00000	'ADEP(2)'
0.00000	'RWCF(9)'	420.00000	'PRBMX(2,1)'	10.00000	'ADEP(3)'
0.00000	'RWCF(10)'	420.00000	'PRBMX(3,1)'	10.00000	'ADEP(4)'
0.00000	'SNLQ'	0.00000	'PRBMX(1,2)'	0.00000	'ADEP(5)'
0.00000	'SNOW	0.00000	'PRBMX(2,2)'	0.00000	'ADEP(6)'
		0.00000	'PRBMX(3,2)'	0.00000	'ADEP(7)'
CROP.100		0.030	'FLIGNI(1,1)'	0.00000	'ADEP(8)'
PBQ	PASTAGEM-	0.00000	'FLIGNI(2,1)'	0.00000	'ADEP(9)'
Brachiaria-Sete-Lagoas		0.06000	'FLIGNI(1,2)'	0.00000	'ADEP(10)'
1.0500000	'PRDX(1)'	0.00000	'FLIGNI(2,2)'	-40.00000	'AGPPA'
30.00000	'PPDF(1)'	0.00001	'HIMAX'	7.70000	'AGPPB'
45.00000	'PPDF(2)'	0.00000	'HIWSF'	1.50000	'ANEREF(1)'
1.00000	'PPDF(3)'	0.00000	'HIMON(1)'	3.00000	'ANEREF(2)'
2.50000	'PPDF(4)'	0.00000	'HIMON(2)'	0.30000	'ANEREF(3)'
1.00000	'BIOFLG'	0.0000	'EFRGRN(1)'	5.00000	'ANIMPT'
60.00000	'BIOK5'	0.0000	'EFRGRN(2)'	0.80000	'AWTL(1)'
1.00000	'PLTMRF'	0.0000	'EFRGRN(3)'	0.60000	'AWTL(2)'
100.00000	'FULCAN'	0.04000	'VLOSSP'	0.40000	'AWTL(3)'
2.00000	'FRTCINDX'	0.00000	'FSDETH(1)'	0.30000	'AWTL(4)'
0.50000	'FRTC(1)'	0.00000	'FSDETH(2)'	0.20000	'AWTL(5)'
0.10000	'FRTC(2)'	0.00000	'FSDETH(3)'	0.20000	'AWTL(6)'
3.00000	'FRTC(3)'	500.00000	'FSDETH(4)'	0.20000	'AWTL(7)'
0.20000	'FRTC(4)'	0.10000	'FALLRT'	0.20000	'AWTL(8)'
0.10000	'FRTC(5)'	0.10000	'RDR'	0.00000	'AWTL(9)'
0.40000	'CFRTC(1)'	2.00000	'RTDTMP'	0.00000	'AWTL(10)'
0.25000	'CFRTC(2)'	0.40000	'CRPRTF(1)'	100.00000	'BGPPA'
0.50000	'CFRTCW(1)'	0.00000	'CRPRTF(2)'	7.00000	'BGPPB'
0.10000	'CFRTCW(2)'	0.00000	'CRPRTF(3)'	350.00000	'CO2PPM(1)'
400.00000	'BIOMAX'	0.00000	'SNFXMX(1)'	700.00000	'CO2PPM(2)'
10.00000	'PRAMN(1,1)'	27.00000	'DEL13C'	0.00000	'CO2RMP'
390.00000	'PRAMN(2,1)'	1.20000	'CO2IPR(1)'	0.00000	'DAMR(1,1)'
340.00000	'PRAMN(3,1)'	0.80000	'CO2ITR(1)'	0.00000	'DAMR(1,2)'
40.00000	'PRAMN(1,2)'	1.20000	'CO2ICE(1,1,1)'	0.01000	'DAMR(1,3)'
390.00000	'PRAMN(2,2)'	1.00000	'CO2ICE(1,1,2)'	0.02000	'DAMR(2,1)'
340.00000	'PRAMN(3,2)'	1.00000	'CO2ICE(1,1,3)'	0.02000	'DAMR(2,2)'
20.00000	'PRAMX(1,1)'	1.20000	'CO2ICE(1,2,1)'	0.04000	'DAMR(2,3)'
440.00000	'PRAMX(2,1)'	1.00000	'CO2ICE(1,2,2)'	15.00000	'DAMRMN(1)'
440.00000	'PRAMX(3,1)'	1.00000	'CO2ICE(1,2,3)'	150.00000	'DAMRMN(2)'
120.00000	'PRAMX(1,2)'	1.00000	'CO2IRS(1)'	0.00000	'PSECOC2'
440.00000	'PRAMX(2,2)'	0.00000	'KMRSP(1)'	12.00000	'RAD1P(1,1)'
440.00000	'PRAMX(3,2)'	0.00000	'CKMRSPMX(1)'	3.00000	'RAD1P(2,1)'

150.000	'DAMRMN(3)'	0.68000	'P1CO2B(2)'	5.00000	'RAD1P(3,1)'
3.900000	'DEC1(1)'	0.55000	'P2CO2'	220.000000	'RAD1P(1,2)'
0.00000	'DEC1(2)'	0.55000	'P3CO2'	5.00000	'RAD1P(2,2)'
9.8000	'DEC2(1)'	100.00000	'PABRES'	100.00000	'RAD1P(3,2)'
0.00000	'DEC2(2)'	16.00000	'PCEMIC(1,1)'	220.000000	'RAD1P(1,3)'
6.00000	'DEC3(1)'	200.00000	'PCEMIC(1,2)'	5.00000	'RAD1P(2,3)'
0.00000	'DEC3(2)'	150.00000	'PCEMIC(1,3)'	100.00000	'RAD1P(3,3)'
0.00450	'DEC4'	10.00000	'PCEMIC(2,1)'	200.00000	'RCESTR(1)'
0.20000	'DEC5'	99.00000	'PCEMIC(2,2)'	500.00000	'RCESTR(2)'
5.00000	'DECK5'	50.00000	'PCEMIC(2,3)'	500.00000	'RCESTR(3)'
-4.00000	'DLIGDF'	0.02000	'PCEMIC(3,1)'	0.01500	'RICTRL'
0.99900	'DRESP'	0.00150	'PCEMIC(3,2)'	0.80000	'RIINT'
0.20000	'EDEPTH'	0.00150	'PCEMIC(3,3)'	0.30000	'RSPLIG'
0.40000	'ELITST'	0.25000	'PEFTXA'	-1.00000	'SEED'
2.00000	'ENRICH'	0.75000	'PEFTXB'	0.85000	'SPL(1)'
0.900000	'FAVAIL(1)'	6.00000	'PHESP(1)'	0.01300	'SPL(2)'
0.50000	'FAVAIL(3)'	0.00080	'PHESP(2)'	5000.00000	'STRMAX(1)'
0.40000	'FAVAIL(4)'	7.60000	'PHESP(3)'	5000.00000	'STRMAX(2)'
0.80000	'FAVAIL(5)'	0.01500	'PHESP(4)'	1.00000	'TEXEPP(1)'
2.00000	'FAVAIL(6)'	3.00000	'PLIGST(1)'	0.70000	'TEXEPP(2)'
0.20000	'FLEACH(1)'	3.00000	'PLIGST(2)'	0.00010	'TEXEPP(3)'
0.70000	'FLEACH(2)'	0.55000	'PMCO2(1)'	0.00016	'TEXEPP(4)'
1.00000	'FLEACH(3)'	0.55000	'PMCO2(2)'	2.00000	'TEXEPP(5)'
0.00000	'FLEACH(4)'	0.00000	'PMNSEC(1)'	1.00000	'TEXESP(1)'
0.10000	'FLEACH(5)'	0.00000	'PMNSEC(2)'	0.00400	'TEXESP(3)'
0.80000	'FWLOSS(1)'	2.00000	'PMNSEC(3)'	0.004000	'TEFF(1)'
0.50000	'FWLOSS(2)'	0.00400	'PMNTMP'	0.12500	'TEFF(2)'
0.65000	'FWLOSS(3)'	600.00000	'PMXBIO'	0.07000	'TEFF(3)'
0.90000	'FWLOSS(4)'	-0.00350	'PMXTMP'	0.03100	'TEFF(4)'
-0.12500	'FXMCA'	0.00000	'PPARMN(1)'	-8.00000	'TMELT(1)'
0.00500	'FXMCB'	0.00010	'PPARMN(2)'	4.00000	'TMELT(2)'
0.35000	'FXMXS'	0.00050	'PPARMN(3)'	33.00000	'VARAT1(1,1)'
7.00000	'FXNPB'	0.00000	'PPRPTS(1)'	3.00000	'VARAT1(2,1)'
0.00000	'GREMB'	1.00000	'PPRPTS(2)'	2.00000	'VARAT1(3,1)'
2.00000	'IDEF'	0.80000	'PPRPTS(3)'	1000.000	'VARAT1(1,2)'
0.20000	'LHZF(1)'	0.45000	'PS1CO2(1)'	30.00000	'VARAT1(2,2)'
0.40000	'LHZF(2)'	0.55000	'PS1CO2(2)'	2.00000	'VARAT1(3,2)'
0.80000	'LHZF(3)'	0.00300	'PS1S3(1)'	1000.000	'VARAT1(1,3)'
18.00000	'MINLCH'	0.03200	'PS1S3(2)'	50.00000	'VARAT1(2,3)'
0.00000	'NSNFIX'	0.0300	'PS2S3(1)'	2.00000	'VARAT1(3,3)'
4.00000	'NTSPM'	0.00900	'PS2S3(2)'	20.00000	'VARAT2(1,1)'
0.03000	'OMLECH(1)'	0.00000	'PSECMN(1)'	12.00000	'VARAT2(2,1)'
0.12000	'OMLECH(2)'	0.00220	'PSECMN(2)'	2.00000	'VARAT2(3,1)'
60.00000	'OMLECH(3)'	0.20000	'PSECMN(3)'		
0.60000	'P1CO2A(1)'	0.00000	'PSECOC1'		
0.17000	'P1CO2A(2)'				
0.00000	'P1CO2B(1)'				

400.00000	'VARAT2(1,2)'
100.0000	'VARAT2(2,2)'
2.00000	'VARAT2(3,2)'
400.00000	'VARAT2(1,3)'
100.0000	'VARAT2(2,3)'
2.00000	'VARAT2(3,3)'
8.00000	'VARAT3(1,1)'
2.00000	'VARAT3(2,1)'
2.00000	'VARAT3(3,1)'
200.00000	'VARAT3(1,2)'
50.00000	'VARAT3(2,2)'
2.00000	'VARAT3(3,2)'
200.00000	'VARAT3(1,3)'
50.00000	'VARAT3(2,3)'
2.00000	'VARAT3(3,3)'
0.05000	'VLOSSE'
0.0500000	'VLOSSG'

Parâmetros sublinhados foram ajustados para cada cenário, de acordo com as características de solo, clima e material orgânico e/ou absorção de N pela cultura.

Apêndice 3 - Exemplo de um cenário criado no APSIM para decomposição e liberação de N dos materiais e absorção de N, assim como, os arquivos referentes aos parâmetros para simulação desse cenário

Organic matter type = manure
Initial surface residue (kg ha⁻¹) = 3200
C/N ratio initial residue = 16
 Fraction of residue standing = 0

Parâmetros SURFACEOM

crit_residue_wt = 3000
 opt_temp = 25
 cum_eos_max = 25
 cnrf_coeff = 0.277
 cnrf_optcn = 25.0
 c_fract = 0.4
 leach_rain_tot = 25.
 min_rain_to_leach = 10.0
 crit_min_surfom_orgC = 0.004
 default_cpr = 0.0
 default_standing_fraction = 0.0
 standing_extinct_coeff = 1.0

Residue

fom_type = manure
fraction_C = 0.4193
pot_decomp_rate = 0.0026
 fr_c = 0.5 0.5 0.0
 fr_n = 0.5 0.5 0.0
 fr_p = 0.0 0.0 0.0
 po4ppm = 0.0
 nh4ppm = 0.0
 no3ppm = 0.0
 specific_area = 0.0001
 cf_contrib = 1

Parâmetros BAMBATSI

Photosynthesis Coefficients
 rue = 5 (g/MJ)
 svp_fract = 0.5
 vpd = 0 1 5 (kPa)
 fvpd = 1 1 1 (0-1)
 ff = 0 1
 fasw = 0.3 0.4 1
 ffasw = 1.0 1 1
 fasw_depth = 300.
 !av_temp = 13 25 35 50
 !ft = 0 1 1 0

av_temp = 8 20 35 50
 ft = 0 1 1 0
 av_temp_ftcanopy = 10 30
 ftcanopy = 0 1
 x_sw_demand_ratio = 1 1.5
 y_fwcanopy = 0 1
 day_length = 12.5 13.5
 fdl = 0 1

Primary Partitioning Coefficients

individual_adm = 0 1 10
 agnd_structure_fraction = .6 .6 .60
 partition_stress = 0.2 0.4 1.0
 below_gnd_fraction = 0.9 0.4 0.3
 fta_av_temp = 0 1
 fta_above_gnd = 1 1
 fta_below_gnd = 1 1

Canopy Component

age = 0 1
 specific_leaf_area = 15000 15000
 leaf_residence_time = 130 130
 Fage = 1 1
 foliage_n_conc = 0.0001 .14
 fn = 0 1.0
 foliage_n_conc_sen = 0.0000 0.00000
 foliage_detach_frac = 0.002
 lai_extinction_coef = 0.01 3.5
 extinction_coef = 0.70 0.70

lai_crown_cover = 0 5 6
 crown_cover = 1 1 1
 crown_determinants = stem
 x_crown_area = 0 100
 y_crown_area = 0 0
 min_lai = 0.1
 leaf_sen_light_lai = 0.01
 leaf_sen_light_rate = 0.0001
 height_determinants = stem
 height_constant = 50.0
 height_power = 0.333

Parâmetros Climáticos (Diários)

maxt

mint

rain

evap

Parâmetros sublinhados foram ajustados para cada cenário, de acordo com as características de solo, clima e material orgânico e/ou absorção de N pela cultura.