UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DO ENWATBAL PARA SIMULAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM FLORESTA DE TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO

MARCIA ELISABETE KLEIN

ORIENTADOR: **PROF. DR. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA**

Cuiabá – MT, Julho de 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL

AVALIAÇÃO DO ENWATBAL PARA SIMULAÇÃO DO CONTEÚDO DE ÁGUA NO SOLO EM FLORESTA DE TRANSIÇÃO NO NORTE DE MATO GROSSO

MARCIA ELISABETE KLEIN

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Física Ambiental.

ORIENTADOR: **PROF. DR. JOSÉ DE SOUZA NOGUEIRA**

Cuiabá – MT, Julho de 2009

DEDICATÓRIA

À Lourdes e Álvaro, meus pais.

À Denise, Marlise, Ricardo e Cristiane, meus irmãos.

Aos meus sobrinhos, Éverton, Wesley e Felipe.

Aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José de Souza Nogueira pela orientação e como coordenador do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, pela colaboração incondicional.

Ao Prof. Dr. José Holanda Campelo Júnior pelas contribuições neste trabalho.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso, que contribuíram para construção do meu conhecimento na área de física ambiental.

À Soilce Beatriz de Paula Carrilho, como secretária do programa de pós-graduação, por sua ajuda.

À Universidade Federal de Mato Grosso por oferecer o curso de mestrado em Física Ambiental.

Aos componentes dos projetos de pesquisa do programa de pós-graduação, coordenador, pesquisadores, técnicos, estagiários/bosistas e colaboradores, pela cooperação na obtenção dos dados para a realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

Aos colegas de curso da “nossa turma” e das “outras turmas” pelo companheirismo e pelas sugestões e contribuições.

Aos meus amigos pelo apoio e compreensão.

À minha família pelo carinho, incentivo e compreensão.

EPÍGRAFE

"Aquele que só conhece a pesquisa científica por seus efeitos práticos vê depressa demais e incompletamente a mentalidade de homens que, rodeados de contemporâneos céticos, indicaram caminhos aos indivíduos que pensavam como eles."

Albert Einstein

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS..... i
LISTA DE TABELAS..... v
LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS..... vi
LISTA DE SÍMBOLOS..... vii
RESUMO..... x
ABSTRACT..... xi
1. INTRODUÇÃO..... 1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... 3
3. MATERIAL E MÉTODOS..... 14
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... 14
3.2 INSTRUMENTAÇÃO..... 16
3.3 TRATAMENTO DOS DADOS..... 17
3.3.1 Variáveis de entrada do modelo ENWATBAL relacionadas ao solo..... 17
3.3.2 Variáveis de entrada do modelo ENWATBAL relacionadas à vegetação..... 18
3.3.2.1 ***Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF)***..... 18
3.3.2.2 ***Estimativa da distribuição de raízes***..... 18
3.3.3 Variáveis de entrada do modelo ENWATBAL relacionadas à atmosfera..... 19
3.3.4 Constantes no modelo ENWATBAL..... 20
3.4 DESCRIÇÃO DO MODELO ENWATBAL..... 23
3.5 SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO ENWATBAL..... 27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... 29
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 46
5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS..... 47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 48

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área a de estudo.....14

Figura 2. Perfil do solo na área de floresta (Fonte: MARCELINO et al., 2005).....15

Figura 3. Índice de área foliar obtida por imagens hemisféricas em área de floresta de transição próximo a Sinop – MT.....18

Figura 4. Precipitação do ano de 2003 medida na estação meteorológica da Fazenda Continental, Sinop – MT.....29

Figura 5. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) a cada 30 minutos medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05 (S3005), 10 (S3010), 15 (S3015), 20 (S3020) e 25 (S3025) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....30

Figura 6. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, a cada 30 minutos, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....31

Figura 7. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) a cada 30 minutos medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05 (S3005), 10 (S3010), 15 (S3015), 20 (S3020) e 25 (S3025) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....32

Figura 8. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, a cada 30 minutos, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....33

Figura 9. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) a cada 30 minutos medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05 (S3005), 10 (S3010), 15 (S3015), 20 (S3020) e 25 (S3025) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....34

Figura 10. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, a cada 30 minutos, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....35

Figura 11. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) diário medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05 (SDia05), 10 (SDia10), 15 (SDia15), 20 (SDia20) e 25 (SDia25) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....38

Figura 12. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, com simulação diária, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....39

Figura 13. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) diário medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05 (SDia05), 10 (SDia10), 15 (SDia15), 20 (SDia20) e 25 (SDia25) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....40

Figura 14. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, com simulação diária, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....41

Figura 15. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) diário medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05 (SDia05), 10 (SDia10), 15 (SDia15), 20 (SDia20) e 25 (SDia25) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....42

Figura 16. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, com simulação diária, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).....43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Variáveis de entrada utilizadas no modelo ENWATBAL, unidade de medida, equipamentos de medida, freqüência de medida dos dados e época de coleta.....22

Tabela 2. Dias juliano utilizados para cada intervalos de dias de simulação no modelo ENWATBAL, tanto para dados de trinta minutos quanto para dados diários.....27

Tabela 3. Critério de interpretação do desempenho do modelo ENWATBAL pelo índice "c".....28

LISTA DE ABREVITURAS E SIGLAS

ENWATBAL: Balanço de Água e Energia

IAF: Índice de Área Foliar

LBA: Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia

TDR: Reflectometria no Domínio do Tempo

LISTA DE SÍMBOLOS

Δz_1 **:** metade da espessura da camada superficial

ψ_s **:** potencial da água no solo na camada i

ψ_{s1} **:** potencial da água no solo na camada superficial

ψ_c **:** potencial efetivo da água na vegetação

ψ_{se} **:** potencial efetivo da água no solo

$\psi_{\max}$: potencial máximo da água na vegetação

σ: constante de Stephan-Boltzmann

ρ: massa específica do ar

$\alpha_{s,c}$**:** absortância de onda curta da vegetação

$\alpha_{s,s}$**:** absortância de onda curta da superfície do solo

c: índice de confiança ou desempenho

cp: calor específico do ar

d': deslocamento do plano zero

d: índice de Willmont

DS: deflúvio superficial

***e*:** pressão de vapor d'água real

$\mathbf{E_s}$**:** evaporação

e_s**:** pressão de saturação do vapor d'água

ET: evapotranspiração

g: condutância epidérmica total

G: fluxo de calor por condução, na superfície do solo

$\mathbf{g_1}$**:** condutância epidérmica parcial

$\mathbf{g_2}$**:** parte da condutância

h: altura do dossel

$\mathbf{H_c}$**:** fluxo de calor sensível da vegetação

$\mathbf{H_s}$**:** fluxo de calor sensível proveniente do solo

I: irrigação

***J*inf:** capacidade infiltração num dado momento

K: condutividade térmica da camada superficial do solo

k: constante de Von Karman

K_1**:** condutividade hidráulica da camada superficial, na umidade atual

K_s**:** condutividade hidráulica saturada

L: calor de vaporização da água

LE_c**:** fluxo de calor latente da vegetação

LE_s**:** fluxo de calor latente do solo

m_a**:** massa de água do solo

m_s**:** massa de solo seco

O: média dos valores medidos

Oi: valor medido

P: precipitação

P_{atm}**:** pressão atmosférica

Pi: valor calculado

Q_Z**:** drenagem profunda

r: coeficiente de correlação

$r_{a,s}$**:** resistência aerodinâmica na superfície do solo

$r_{a,v}$**:** resistência aerodinâmica

r_c**:** resistência específica entre o solo e a vegetação

RC_i**:** absorção de água pelas raízes na camada i

RD_i**:** densidade de raízes

r_c**:** resistência epidérmica total

$R_{L,c}$**:** radiação de onda longa emitida pela vegetação

$R_{L,s}$**:** radiação de onda longa proveniente da atmosfera

$R_{L,ss}$**:** radiação emitida pela superfície do solo

$Rn_{,c}$**:** saldo de radiação na vegetação

$Rn_{,s}$**:** saldo de radiação na superfície do solo

R_s**:** radiação solar global incidente

R_{smax}**:** radiação global incidente em condições de céu limpo

r_v**:** resistência ao fluxo de calor latente

SAN: ângulo de elevação do sol

T_a: temperatura do ar

T_l: temperatura da vegetação

T_o: temperatura do ponto de orvalho

T_r: taxa de transpiração

T_s: temperatura da superfície do solo

U: umidade gravimétrica

u: velocidade do vento

UA_a: umidade absoluta no ar

UA_l: umidade absoluta na folha

$UA_{v,o}$: umidade absoluta de saturação na superfície do solo

$UA_{v,s}$: umidade absoluta real na superfície do solo

UR: umidade relativa do ar

***V_a*:** volume de água no solo

***V_s*:** volume total do solo

V_{sky}: transmitância da vegetação

z: altitude

z_0: rugosidade da superfície

ΔA_L: variação do armazenamento

θ: umidade volumétrica

***ρ_a*:** massa específica da água

***ρ_s*:** massa específica do solo

RESUMO

KLEIN, M. E. ***Avaliação do ENWATBAL para simulação do conteúdo de água no solo em floresta de transição no norte de Mato Grosso***. Cuiabá, 2009. 54 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o programa ENWATBAL para simulação do conteúdo de água no solo em área de transição entre floresta tropical úmida e cerrado localizada a 50 km do município de Sinop (11º24,75' S e 55º19,5' O), região norte do Estado de Mato Grosso. No modelo ENWATBAL foram inseridos dados relacionados ao solo, vegetação e atmosfera obtidos por meio de sensores instalados em uma torre micrometeorológica. As simulações foram diárias e de trinta minutos para as profundidades do solo de 0,05, 0,25 e 0,70 m, com intervalos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias para os meses de agosto e setembro de 2003. Os dados de conteúdo de água no solo modelado foram comparados com os medidos experimentalmente, usando indicadores estatísticos de precisão, exatidão e desempenho. O programa ENWATBAL mesmo subestimando e superestimando os dados do conteúdo de água do solo, apresentou um desempenho adequado para simulação em algumas profundidades.

Palavras-chave: Modelagem, conteúdo de água no solo, ENWATBAL.

ABSTRACT

KLEIN, M. E. ***Evaluation of ENWATBAL for simulation of water content in soil in forest transition in northern Mato Grosso***. Cuiabá, 2009. 54 p. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

The objective of this study was to evaluate the program ENWATBAL for simulation of soil water content in the transition area between tropical rainforest and savanna located 50 km from Sinop (11º 24,75' S and 55º 19,5' W), northern state of Mato Grosso. In the model ENWATBAL were inserted data related to soil, vegetation and atmosphere obtained by sensors installed on a micrometeorological tower. The simulations were daily and of thirty minutes for the soil depths of 0.05, 0.25 and 0.70 m at intervals of 5, 10, 15, 20 and 25 days for the months of August and September 2003. The data of the water content in soil modeled were compared with those measured experimentally, using statistical indicators of precision, accuracy and performance. The program ENWATBAL even underestimating and overestimating the data of water content of soil, presented a performance suitable for simulation in some depth.

Keywords: Modeling, water content in soil, ENWATBAL.

1. INTRODUÇÃO

Com a ocupação demográfica desordenada do território há mudanças de paisagem que transformam total ou parcialmente os ambientes, dando lugar a cidades e áreas para cultivo agrícola, para pastagens e extrativismo que poderão exercer influência no que diz respeito às mudanças climáticas locais e em outras escalas.

Uma das regiões em que isso vem ocorrendo é a Amazônia Legal, com a substituição das florestas por outras formas de uso do solo.

Para avaliar o efeito dessas alterações é necessário conhecer a dinâmica dos ecossistemas, levando em consideração a possibilidade de que essas alterações podem influenciar no ciclo hidrológico e ciclo do carbono, entre outros.

O conhecimento da dinâmica dos ecossistemas amazônicos está sendo ampliado significativamente através de pesquisas. Um dos componentes desses ecossistemas a ser estudado é o conteúdo de água no solo, que pode por meio de medições feitas diretamente no ambiente ou por modelagem. A modelagem tem sido importante para o entendimento e monitoramento de processos em diversos tipos de ambiente, como em monocultivos, em sistemas agroflorestais e em florestas.

O conteúdo de água no solo auxilia no entendimento do desenvolvimento da vegetação de determinado local, já que a água é fundamental na produção vegetal. O conteúdo de água no solo depende da precipitação, da interceptação da água pelo dossel, do escoamento lateral e em profundidade (drenagem profunda) e da evapotranspiração. Esses processos que envolvem fluxo de água são interdependentes, e na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente, e para estudar o ciclo da água em área vegetada é necessário considerar o balanço hídrico.

O balanço hídrico do solo consiste na contabilização da água do solo aplicando-se o Princípio de Conservação de Massa em determinado volume de solo

vegetado. Quantifica o que entra e o que sai de água do volume de controle, num determinado período de tempo, e, em função da diferença entre eles, verifica a redução ou o aumento da quantidade inicial de água no volume de solo considerado.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o programa ENWATBAL para simulação do conteúdo de água no solo em área de floresta de transição entre floresta tropical úmida e cerrado localizada próxima a Sinop, região norte do Estado de Mato Grosso.

Como o programa ENWATBAL simula de forma dinâmica os balanços de água e de energia em um sistema solo-planta-atmosfera, o emprego deste programa neste estudo, sobre o conteúdo de água no solo, teve a finalidade de verificar a possibilidade de utilizá-lo como mais um instrumento de estudo em modelagem para áreas com vegetação heterogênea, já que o programa tem sido usado em modelagens para áreas com vegetação homogênea.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água pode ser armazenada no solo e ficar disponível às plantas para suprir suas necessidades. A disponibilidade de água no solo constitui um fator fundamental para o crescimento e produtividade das plantas, nativas ou cultivadas, para as quais a falta ou excesso de água influenciam no desenvolvimento das mesmas. Conforme RICKLEFS (1996), a disponibilidade de água para as plantas e a quantidade retida variam com a estrutura física do solo. Os solos consistem de partículas de argila, silte, areia e material orgânico. A estrutura do solo é o arranjo dessas partículas.

A quantidade de água no solo só determina sua disponibilidade parcial, pois as raízes das plantas facilmente captam a água não fortemente agregada às partículas do solo por tensão superficial, porém a água próxima à superfície das partículas se une mais firmemente às partículas. A força com que a água está retida no sistema em termos de equivalente de pressão atmosférica é chamada de potencial de água do solo. A atração por capilaridade retém água no solo com uma força equivalente a uma pressão de 10,1 kPa (quilopascal). A água que é atraída pelas partículas de solo com uma força menor do que 10,1 kPa drena do solo sob a ação da gravidade e se une aos lençóis de água. A quantidade de água retida contra a gravidade pelas forças de atração maiores do que 10,1 kPa é chamada de capacidade de campo do solo. A força equivalente a 10,1 kPa pode elevar uma coluna de água a aproximadamente 1 metro (m). As raízes das plantas exercem uma sucção forte na água do solo para absorvê-la. De fato, a maior parte das plantas pode exercer uma sucção máxima de cerca de 1519,8 kPa na água do solo. Após as plantas, sob a influência da seca, terem retirado toda a água do solo que estava retida por forças mais fracas do que 1519,8 kPa (ponto de murchamento do solo), elas não conseguem mais obter água e murcham, mesmo que ainda haja água no solo (RICKLEFS, 1996).

A reposição natural da água no solo por meio da precipitação é variável. Quando a precipitação é em excesso, a capacidade de armazenamento é superada e podem ocorrer perdas por escoamento superficial ou por percolação profunda. Quando a precipitação é esparsa, a reserva de água no solo é fundamental para o desenvolvimento vegetal. O esgotamento desse reservatório, no caso de uma cultura, torna necessária a reposição de água por irrigação (REICHARDT & TIMM, 2004).

Segundo GONÇALVES & STAPE (2002), durante a precipitação, a velocidade máxima de infiltração ocorre no começo, e normalmente decresce rapidamente, de acordo com alterações na estrutura da superfície do solo. Se a precipitação continua, a velocidade de infiltração gradualmente se aproxima de um valor mínimo (alcançada quando o solo está saturado). De modo geral, quanto mais seco o solo, maior a velocidade de infiltração.

LIBARDI (2000) define a infiltração de água no solo como a entrada de água no solo através da interface solo-atmosfera. Assim, durante uma precipitação, parte dela pode infiltrar e se movimentar para baixo e parte pode escorrer pela superfície do solo. Então, a infiltração é um processo que separa quanto da precipitação flui sobre a superfície do solo e quanto flui abaixo da superfície do solo. A quantidade de água que atravessa a unidade de área da superfície do solo por unidade de tempo é denominada de taxa de infiltração. Durante o processo de infiltração, a taxa de infiltração tende a decrescer com o tempo, atingindo um valor final constante, que é conhecido pelo nome de capacidade de infiltração.

A capacidade de infiltração do solo, a intensidade da precipitação, a declividade do terreno, a existência de obstáculos ao caminhamento da enxurrada sobre o solo estão intimamente relacionados com o grau de absorção de água de um solo. Em ecossistemas florestais, os troncos e os resíduos vegetais, ao atuarem como obstáculos para as enxurradas, reduzem sua velocidade, aumentando as taxas de infiltração, consequentemente há captação de água pelo solo e reabastecimento do lençol freático. O maior grau de estruturação do solo promovido pelas árvores e demais plantas acentuam esses efeitos. Esse maior tempo de permanência e a menor perda de água no ecossistema são fatores que contribuem para a maior disponibilidade de água para as plantas (GONÇALVES & STAPE, 2002).

Os mesmos autores afirmam que após o desmatamento, as perdas de água por evaporação e percolação profunda são maiores, o que reduz a eficiência de aproveitamento da água precipitada. A diminuição do aporte de material orgânico (serrapilheira e raízes) e o aumento da temperatura do solo contribuem para a redução da capacidade de retenção de água e para a degradação da estrutura do solo.

Como a disponibilidade de água no solo é necessária para o desenvolvimento dos vegetais, a determinação das propriedades hidráulicas do solo - que condicionam a dinâmica da água - é essencial para descrever e compreender os processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera, tornando-se possível identificar as relações entre as práticas de manejo da água e a produtividade de culturas (SILVA & LIBARDI, 2000). O manejo racional de água é decisivo para o desenvolvimento das plantas, evitando a falta ou excesso. É cada vez mais necessário conhecer o teor de umidade no solo, sendo este conhecimento um dos fatores indispensáveis para uma agricultura sustentável e sem prejuízos ao ambiente (SOUZA & MATSURA, 2002).

Para REICHARDT & TIMM (2004), as variações de umidade do solo e do armazenamento de água são de grande importância para a análise do comportamento de uma cultura. Essas variações são um reflexo das taxas de evapotranspiração, precipitação, irrigação e movimento de água no perfil do solo. Estes autores afirmam também que a umidade varia no solo com o tempo e depende da distribuição radicular no solo.

Conforme REZENDE et al. (1998), a uniformidade de distribuição da água no perfil do solo é mais importante que na sua superfície já que as plantas retiram água do volume de solo no qual o seu sistema radicular se encontra. Uma vez que a água tende a se movimentar das regiões de maior para as de menor umidade, a sua redistribuição no perfil do solo deve contribuir para aumentar a uniformidade no perfil. A tendência da água se movimentar de regiões mais úmidas para aquelas de menor umidade promove, após certo tempo, maior uniformidade da umidade.

CHICOTA (2003), afirma que a quantificação da umidade do solo é de grande interesse, tanto no aspecto científico como no econômico. A umidade do solo pode ser obtida por métodos diretos ou indiretos. Os métodos indiretos utilizam uma propriedade física do solo que é dependente da quantidade de água presente nele e há vários processos e equipamentos que permitem essa determinação, como por

exemplo, os métodos elétricos (resistência ou capacitância), os métodos térmicos (condutividade térmica), os métodos radioativos (atenuação de nêutrons rápidos ou de raios gama), a tensiometria (potencial matricial) e a reflectometria no domínio do tempo (constante dielétrica relativa), que foi utilizada neste trabalho.

O mesmo autor diz que os métodos diretos ou gravimétricos baseiam-se na pesagem de amostras de solo úmido e solo seco. A diferença entre as duas medidas representa a massa de água na amostra do solo utilizada. A proporção entre a massa de água e massa de solo representa a condição do solo no momento da coleta da amostra. Com estas quantificações determina-se a umidade gravimétrica do solo (equação 1) e, se a densidade do solo ou o volume da amostra forem conhecidos, pode-se obter a umidade volumétrica (equação 2 e 3).

$$U = \frac{m_a}{m_s} \tag{1}$$

$$\theta = \frac{V_a}{V_s} \tag{2}$$

$$\theta = U.\frac{\rho_s}{\rho_a} \tag{3}$$

em que, U é a umidade gravimétrica ($KgKg^{-1}$), m_a é a massa de água do solo (Kg), m_s é a massa de solo seco, θ é a umidade volumétrica (m^3m^{-3}), V_a é o volume de água no solo (m^3), V_s é o volume total do solo (m^3), ρ_s é a massa específica do solo (Kgm^{-3}), ρ_a é a massa específica da água (Kgm^{-3}).

Os vários processos que envolvem fluxo de água - infiltração, redistribuição, evaporação e absorção pelas plantas - são interdependentes, e na maioria das vezes, ocorrem simultaneamente. Para estudar o ciclo da água em área vegetada é necessário considerar o balanço hídrico. Este é o somatório das quantidades de água que entram e saem de um elemento de volume de solo e, num dado intervalo de tempo, o resultado é a quantidade efetiva de água que nele permanece (REICHARDT & TIMM, 2004).

Assim, o balanço hídrico é a contabilização da água do solo, resultante da aplicação do Princípio de Conservação de Massa em volume de solo vegetado. A variação de armazenamento da água no volume considerado, por intervalo de tempo, representa o balanço entre o que entra e o que sai de água do volume de controle.

Admite-se que esse volume de controle, que é determinado pelo sistema solo-planta-atmosfera, seja representativo de toda a área em estudo, e no caso do balanço hídrico climatológico, essa área é aquela representada pelo ponto de medida dos elementos climáticos, principalmente a precipitação (PEREIRA et al., 2002).

O balanço hídrico climatológico baseia-se na estimativa do que ocorreria em determinada área, sendo a estimativa baseada em série de dados climatológicos coletados durante anos em certa localidade. Tem várias aplicações entre as quais se destacam a disponibilidade hídrica regional, caracterização de secas, zoneamento agroclimático e determinação das melhores épocas de semeadura (PEREIRA et al., 2002).

OMETTO (1981) afirma que para fins climatológicos, o balanço hídrico pelo sistema de Thornthwaite de 1948 é o método de contabilidade hídrica no solo mais utilizado. Consiste de um quadro com colunas que indicam valores de temperatura, precipitação, evapotranspiração potencial, diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial, acúmulo dessa diferença, negativo acumulado (quando a evapotranspiração potencial é maior que a precipitação), armazenamento de água no solo, alteração desse armazenamento, evapotranspiração real, déficit e excesso de água no perfil do solo.

Segundo VIANELLO & ALVES (2004), o método de Thornthwaite foi aperfeiçoado em 1955 por Thornthwaite e Mather, onde a capacidade máxima de armazenamento d'água pelo solo e a taxa de utilização da umidade do solo para a evapotranspiração passaram a depender da profundidade, do tipo e da estrutura do solo. Outra mudança foi em relação ao comportamento da evapotranspiração real à proporção que o solo vai perdendo água, sugerindo um declínio linear da evapotranspiração com o aumento da tensão d'água no solo. Thornthwaite e Mather propuseram também uma relação exponencial envolvendo o armazenamento d'água no solo ao longo do ano, a capacidade de água disponível e a perda d'água acumulada.

Portanto, para se efetuar o balanço hídrico de uma cultura é necessário contabilizar as entradas de água no solo via precipitação ou irrigação, a partir da sua infiltração na superfície, e as saídas, representadas pela drenagem interna, evapotranspiração e deflúvio superficial num volume de solo, com base na

configuração do sistema radicular da cultura em estudo, em determinado período de tempo. Se a quantidade de água que entra no volume de solo considerado num determinado período for maior do que a quantidade que sai durante o mesmo período, o saldo será positivo e, caso contrário, será negativo. Tanto o saldo positivo quanto o negativo serão medidos pela variação de armazenagem de água no perfil do solo no período considerado (LIBARDI, 2000).

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para uma cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar) como, também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço (CINTRA et al. 2000).

REICHARDT & TIMM (2004) afirmam que o balanço hídrico é a própria lei da conservação das massas e está ligado ao balanço de energia, pois os processos que envolve requerem energia. O balanço de energia, por sua vez, é a própria lei da conservação da energia. Do ponto de vista agronômico, o balanço hídrico é fundamental, pois ele define as condições hídricas sob as quais uma cultura se desenvolveu.

Segundo os autores citados acima, para se estudar o balanço hídrico em uma área vegetada qualquer, é preciso escolher a camada de solo na qual se pretende determinar o balanço hídrico. Geralmente essa camada deve incluir toda a zona de absorção de raízes ou pelo menos, a maior parte dela. Há a necessidade de se conhecer a distribuição do sistema radicular, em seus diferentes estádios de crescimento. No intervalo de tempo que se pretende determinar o balanço, os fluxos positivos (que contribuem para o aumento da quantidade de água na camada do solo) são o fluxo de precipitação e o fluxo de irrigação. Parte dessa água pode, porém, ser perdida por deflúvio superficial ou enxurrada ou escoamento superficial. O escoamento superficial vindo de áreas à montante pode constituir adições de água. O fluxo de evapotranspiração contribui para a diminuição da quantidade de água, e, na profundidade considerada, há fluxos de água tanto no sentido de cima para baixo (o

caso mais comum), como no sentido de baixo para cima (mais raro), dependendo do gradiente de potencial da camada. Esse gradiente determinará a direção do fluxo e, junto com a condutividade hidráulica, determinará sua intensidade. Como a dinâmica da água é relativamente lenta, períodos de um dia ou menos, não são viáveis para efetuar o balanço hídrico. O período dependerá do tipo de vegetação. Para fins ecológicos, muitas vezes usa-se o semestre ou até o ano.

A equação seguinte representa o balanço hídrico:

$$P + I + DS + ET + Q_Z + \Delta A_L = 0 \quad (4)$$

em que, P é a precipitação, I é a irrigação, DS é o deflúvio superficial (runoff), ET é a evapotranspiração, Q_Z é a drenagem profunda e ΔA_L é a variação do armazenamento.

Conforme SILVA (2003), o balanço hídrico de um ecossistema vegetal é determinado pela interação entre suprimento (precipitação) e demanda (uso de água pela vegetação), mediada pelo armazenamento de água no solo. A precipitação é o maior termo na equação do balanço hídrico e uma das vias de entrada de água no sistema. A água que não é escoada superficialmente ou interceptada pela vegetação infiltra-se diretamente no solo ou após o gotejamento das folhas e escoamento pelo caule. A água então pode deixar o sistema logo na superfície do solo por evaporação, segue armazenada temporariamente no solo de onde pode ser absorvida pelas raízes e drenada lateralmente ou para camadas mais profundas do perfil do solo para abastecer o lençol subterrâneo de água. Em uma quantidade geralmente menor, a água chega até a zona radicular das plantas por ascensão capilar. A água absorvida pelas plantas deixa o sistema por transpiração. O termo evapotranspiração é o segundo em importância e está diretamente relacionado às características da vegetação, como profundidade do sistema radicular, superfície de albedo, resistência do dossel, e às características do clima, como temperatura, umidade relativa do ar, radiação solar. Além disso, quando há estresse hídrico, o solo, e não o clima, exerce maior controle sobre a evapotranspiração, determinando a amplitude da estação de disponibilidade de água para as plantas.

Assim, para efetuar o balanço hídrico de determinado lugar muitas vezes se faz necessário utilizar instrumentos que auxiliem no estudo e um desses instrumentos é a modelagem. Nas últimas décadas, houve um aumento considerável da utilização

de modelagem, principalmente na área das ciências agrárias, com a finalidade de simular processos no sistema solo-planta-atmosfera, como o balanço hídrico.

De acordo com CHRISTOFOLETTI (2002), a modelagem constitui-se em importante instrumento para analisar as características e investigar mudanças nos sistemas ambientais. Afirma ainda que, os modelos não podem substituir as observações de campo e os experimentos de laboratório, mas podem aumentar em muito a sua eficiência.

ARAÚJO et al. (2001) comentam que com o avanço da ciência computacional a técnica da modelagem torna-se indispensável na busca de soluções, empregando, conforme HOOGENBOOM (2000), modelos matemáticos de simulação em estudos que envolvem efeitos de fatores ambientais sobre a produção agrícola.

CAMPELO JÚNIOR et al. (2003) alertam para a necessidade de se proceder a validação dos resultados obtidos em simulação matemática por meio de comparação entre os dados medidos no campo com os dados calculados.

Nesta pesquisa utilizou-se um modelo matemático de simulação para obter o balanço hídrico no solo. O modelo utilizado foi o ENWATBAL (Energy and Water Balance) (LASCANO et al., 1987; VAN BAVEL & LASCANO, 1987; EVETT & LASCANO, 1993).

Segundo EVETT & LASCANO (1993), o ENWATBAL é um modelo unidimensional numérico e a principal suposição é o cálculo separado de evaporação do solo e vegetação como uma função do desenvolvimento e tempo via modelo numérico dos balanços de água e energia do sistema solo-planta-atmosfera. ENWATBAL não é um modelo de crescimento e desenvolvimento. O modelo prevê os conteúdos de água do solo e temperatura e pode ser usado para investigar implicações agronômicas, tal como emergência de sementes, estratégias de irrigação, e outros processos dependentes de água do solo e temperatura.

No modelo, conforme EVETT & LASCANO (1993), são consideradas as seguintes informações:

- o solo é dividido em até 9 horizontes, subdividido em diversas camadas de espessuras variáveis;
- o dossel é definido como uma camada simples sem armazenamento de água;

- a atmosfera é definida como uma fonte/sumidouro com temperatura conhecida e pressão do vapor d'água;
- os fluxos de água e energia são representados como valor de equações que são integradas em cada intervalo de tempo;
- os fluxos de água e energia entre o solo e atmosfera são calculados separadamente do que entre o dossel e atmosfera. Portanto, se não existir cultura o modelo calculará a evaporação do solo nu;
- o fluxo de água no solo incluindo infiltração é calculado pela Lei de Darcy;
- o fluxo de calor do solo é calculado pela Lei de Fourier com condutividade térmica corrigida para transporte de calor por fluxo de vapor.

O ENWATBAL requer dados de entrada diários ou a intervalos de 30 minutos. Para dados de entrada diários são requeridos os seguintes dados: dia do ano (dia juliano), radiação solar total (MJm^{-2}), temperatura do ar máxima e mínima (°C), temperatura do ponto de orvalho máxima e mínima (°C), média da velocidade do vento (ms^{-1}), índice de área foliar, distribuição de raízes (m), pressão atmosférica (Kpa) e precipitação (mm). Para dados de intervalos de 30 minutos requer: velocidade do vento (ms^{-1}), temperatura do ar (°C), umidade do ar (%), temperatura do ponto de orvalho (°C), pressão atmosférica (Kpa), radiação solar (Wm^{-2}) e precipitação (mm).

Outros dados necessários são: conteúdo volumétrico de água no solo (m^3m^{-3}), temperatura do solo (°C) e especificação da espessura das camadas de solo (m) e o número de horizontes do solo. E outros dados estão arranjados em pares, estas relações incluem condutância epidérmica ($m\ s^{-1}$) em função do potencial de água na folha (m), condutância epidérmica ($m\ s^{-1}$) em função da radiação solar (Wm^{-2}), condutividade térmica de vapor ($Wm^{-1}°C^{-1}$) em função da temperatura do solo (°C), e albedo do solo em função do conteúdo volumétrico de água (m^3m^{-3}). Há as relações do potencial da água no solo (m) em função do conteúdo volumétrico de água (m^3m^{-3}), e da condutividade hidráulica ($m\ s^{-1}$) em função conteúdo volumétrico de água (m^3m^{-3}). E requer ainda: rugosidade da superfície (m), altura (m) em que estão instalados os equipamentos meteorológicos acima do dossel, latitude (graus) e a pressão atmosférica (mbar).

Os dados citados são inseridos num sistema de arquivos de entrada (ENWATBAL.FIL, INIT10, IRR_PREC, ENWARBAL, ENWATBAL.CON, ENWATBAL.FGN, WP.DAT) do programa de simulação Enwatbal.bas, o qual gera resultados que são fornecidos em arquivos de saída (ET, PROFILE). Deve ser especificado se os dados de entrada são diários ou de 30 minutos, e o dia de início e de término da simulação.

O modelo fornece resultados que podem ser usados para validação, como os perfis de umidade e de temperatura do solo, a temperatura da superfície do dossel, os potenciais da água na planta e no solo e os componentes do balanço de energia.

Conforme EVETT & LASCANO (1993), modelos de simulação são ferramentas usuais para investigar questões que são difíceis de examinar via estudos de campo, para elaborar melhor delineamentos experimentais, e para ganhar compreensão sobre como as partes dos sistemas complexos interagem. O ENWATBAL foi usado para prever a evapotranspiração do algodão (LASCANO et al., 1987) e do sorgo (VAN BASVEL & LASCANO, 1987) em Lubbock, Texas. RITCHIE & JOHNSON (1990) compararam ENWATBAL e o CERES-Maize para previsão da evapotranspiração do sorgo. KRIEG & LASCANO (1990) usaram ENWATBAL para prever a evapotranspiração do sorgo em Brownfield, Texas, e QIU et al. (2002) comparando modelos que estimam a evapotranspiração, utilizaram o ENWATBAL para uma cultura de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) em Tottori, Japão.

LASCANO (1991) usou o modelo para simular os efeitos do nitrogênio sobre o sorgo no uso de água de irrigação em solo seco em Lubbock, Texas. EVETT et al. (1994) utilizaram o ENWATBAL para estudar o balanço de energia e de água numa cultura de trigo em Bushland, Texas. EVETT et al. (1995), numa cultura de milho irrigado, usaram o modelo ENWATBAL para estudo do balanço de energia e de água neste cultivo em Bushland, Texas.

OLIVEIRA[1] apud CAMPELO JÚNIOR et al. (2002) utilizou o ENWATBAL para estudar a transpiração em uma área cultivada com nove espécies diferentes, incluindo gramíneas rasteiras, arbustos e árvores, introduzindo algumas modificações

[1] OLIVEIRA, R. F. **Water and energy fluxes in an urban landscape**. Texas A&M University, 1994. Ph. D. Thesis. 137 p. apud CAMPELO JÚNIOR, J. H.; MEDEIROS, R. A.; BRAWERS, L. R. Simulação do balanço hídrico do solo com pastagem, em condições de cerrado. In: XXIV REUNIÃO BRASILEIRA DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2002, Cuiabá. Anais. Cuiabá: SBCS, 2002. 249 p. p. 151.

simples na estimativa da resistência aerodinâmica e na radiação absorvida, e procedendo ao cálculo da transpiração por unidade de superfície do solo para as gramíneas, e por unidade de superfície foliar para as plantas isoladas.

CAMPELO JÚNIOR et al. (2002) realizaram uma simulação do balanço hídrico no solo em pastagem de *Paspalum atratum* Swallen, em condições de cerrado em Santo Antônio do Leverger, Mato Grosso, Brasil, utilizando o ENWATBAL. KLEIN et al. (2004) e GALLON et al. (2004) nessa mesma área, usando o ENWATBAL, fizeram uma simulação do conteúdo de água no solo para uma cultura de algodão (*Gossypium hirsutum* L. raça *latifolium* Hutch.) e uma simulação do balanço de energia, respectivamente.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi desenvolvido em uma área de transição entre floresta tropical úmida e Cerrado, localizada a aproximadamente 50 km de Sinop – Mato Grosso, onde estava instalada uma torre de medições micrometeorológicas (11º24,75’ S e 55º19,5’ O, 423 m de altitude) (Figura 1).

Figura 1. Localização da área em estudo.

A classificação climática de Koëppen é do tipo Am, caracterizado por um clima quente e úmido com chuvas do tipo monçônico (CAMPOS et al., 1980). Segundo VOURLITIS et al. (2002), a temperatura média anual é em torno de 24º C e a precipitação anual é de aproximadamente 2000 mm com quatro meses de estiagem (Junho a Setembro).

O solo é extremamente arenoso e classificado como um Neossolo Quartzarênico Órtico típico A moderado álico. PRIANTE FILHO et al. (2004) afirmam que o solo é constituído de 84% de areia, 4% de silte, e 12% de argila nos primeiros 0,50 m do solo.

Conforme MARCELINO (2003) e MARCELINO et al. (2005), o perfil do solo é constituído por solo de textura areno-argilosa com matéria orgânica na profundidade de 0,00 a 0,15 m; na profundidade de 0,15 a 1,60 m solo com textura areno-siltosa, de cor bege clara; de 1,60 a 2,00 m textura areno-siltosa com pouca argila; de 2,00 a 2,15 m com concreções lateríticas; de 2,15 a 2,40 m textura areno-siltosa, de cor bege escura; 2,40 a 3,80 m areno-siltosa, de cor bege clara; 3,80 a 4,50 m areno-siltosa com níveis lateríticos, de cor bege; de 4,50 a 5,10 m areno-siltosa com níveis lateríticos, de cor esbranquiçada; 5,10 a 5,30 m com concreções lateríticas; e na profundidade de 5,30 a 6,00 m textura silto-arenosa com níveis lateríticos (Figura 2).

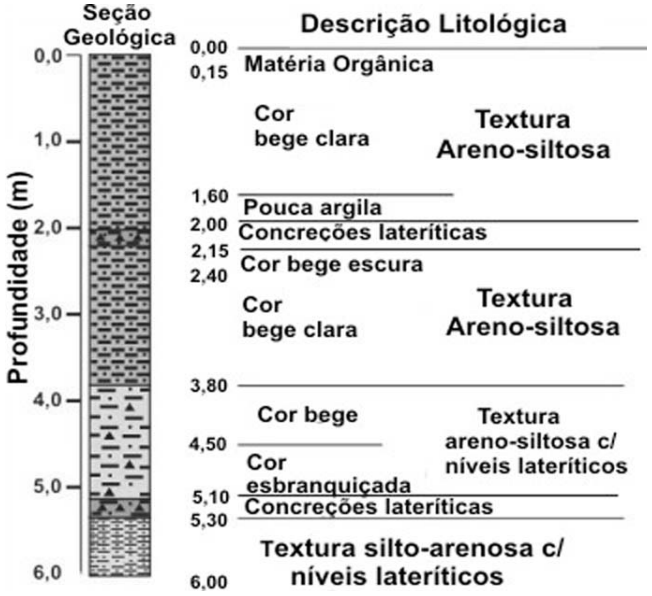

Figura 2. Perfil do solo na área de floresta de transição (Fonte: MARCELINO et al., 2005).

Em estudo realizado sobre a variação do nível do lençol freático em poços de monitoramento com profundidades em torno de 5 m próximo a torre micrometeorológica na área desta floresta de transição, verificou-se que de outubro de 2001 a fevereiro de 2003 o nível variou de 3,18 a 5,34 m (MARCELINO, 2003) e em outubro de 2003 a janeiro de 2004 a variação do nível do lençol freático foi de 2,95 m a 2,97 m (SANTOS & SHIRAIWA, 2004).

A área de floresta de transição a vegetação consiste de vegetação Amazônica típica com árvores sempre verde, tendo as espécies *Tovomita* cf. *schomburgkii* (Planch & Triana), *Protium sagotianum* (Marchand), *Brosimum lactescens* (S. Moore) e *Dialium guianense* (Aubl.) dominantes. A altura do dossel é de 28 a 30 metros. O índice de área foliar (IAF) alcança um máximo de 5 m^2m^{-2} durante a estação chuvosa e um mínimo de 4 m^2m^{-2} durante o período seco (PRIANTE FILHO et al., 2004).

3.2 INSTRUMENTAÇÃO

Medidas contínuas foram realizadas por sensores instalados na torre micrometeorológica de 42 m de altura, localizada na área de estudo. A radiação foi medida por Piranômetro (Q*7.1, REBS, Inc., Seattle, WA, USA), a temperatura e umidade do ar por Psycrômetro (HMP-35, Vaisala, Inc., Helsinki, Finland), a velocidade do vento por Anemômetro Sônico (SWS-211/3K, Applied Technologies, Inc., Boulder, CO, USA), a precipitação por Pluviômetro (2501, Sierra-Misco, Inc., Berkeley, CA, USA), mas por problemas técnicos com o pluviômetro, utilizou-se os dados de precipitação obtidos por um pluviômetro tipo “tupy” na estação meteorológica da Fazenda Continental, localizada à aproximadamente 17 km do local de estudo, em área de manejo florestal. Os dados foram registrados em datalogger (CR-10, Campbell Scientific, Inc., Ogden, Utah).

No solo, o conteúdo de água foi medido por três sensores de reflectometria no domínio do tempo (Time Domain Reflectometry, TDR) (CS615, Campbell Scientific, Inc., Ogden, UT, USA) de duas hastes de 30 cm instaladas

horizontalmente nas profundidades 0,05, 0,25 e 0,70 m. E a temperatura do solo, por quatro termopares do tipo Cobre/Constantan, instalados nas profundidades 0,01, 0,03, 0,05 e 0,07 m. Os dados foram registrados em datalogger a cada 30 minutos.

3.3 TRATAMENTO DOS DADOS

O modelo ENWATBAL utiliza dados de entrada (variáreis) de trinta minutos e diários, com informações sobre o solo, a vegetação e a atmosfera.

3.3.1 Variáveis de entrada do modelo ENWATBAL relacionadas ao solo

O conteúdo de água no solo foi medido por TDR (Reflectometria no Domínio do Tempo) em m^3m^{-3}.

A temperatura do solo, em ºC, foi obtida por meio de termopares.

As profundidades do solo consideradas foram 0,05, 0,25 e 0,70 m. Para obter dados de temperatura do solo para 0,25 e 0,70 m, calculou-se a média dos dados da temperatura registrados a meia noite para 0,01, 0,03, 0,05 e 0,07 m e o valor obtido foi adotado para as duas profundidades (0,25 e 0,70 m).

Foram coletadas em outubro de 2004, com um trado amostrador de Kopec, amostras indeformadas de solo em cilindros com 0,05 m de altura e 0,04 m de diâmetro, em média, nas profundidades de 0 a 0,05, 0,30 a 0,35 e 0,65 a 0,70 m com duas repetições. Foram determinadas as curvas características de umidade para os pontos de tensão de 33, 50, 100, 300, 500 e 1500 kPa, a densidade global e a condutividade hidráulica do solo saturada.

Utilizando o método proposto por LOYOLA & PREVEDELLO (2003) obteve-se a umidade do solo em função da curva de retenção e da condutividade hidráulica nas profundidades do solo consideradas.

Foram mantidas as relações entre o conteúdo de água no solo e o albedo do solo e a temperatura do solo e a condutividade de calor por vapor, empregadas na versão atual do ENWATBAL.

3.3.2 Variáveis de entrada do modelo ENWATBAL relacionadas à vegetação

As variáveis de entrada no ENWATBAL relacionadas à vegetação são: índice de área foliar e distribuição de raízes.

3.3.2.1 Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF)

Obteve-se índice de área foliar (IAF) na floresta por meio de fotografias hemisféricas utilizando máquina fotográfica (Nikon Coolpix 4300) com lente "olho-de-peixe" (Nikon FC-E8 Fisheye Converter), sendo fotografado mensalmente, próximo à torre. A máquina, instalada num tripé a um metro do solo, foi posicionada tomando como orientação geográfica o norte. As fotografias foram analisadas num programa de análise de imagens hemisféricas, o HEMIPHOT (FRAZER et al., 1997; FRAZER et al., 1999), para se obter o índice de área foliar. Os dados obtidos foram para o período de Junho de 2004 a Abril de 2005. Assumindo que a floresta está em estádio estável, para obter dados de IAF para agosto e setembro de 2003 (período de estudo deste trabalho) utilizou-se a equação, obtida dos dados das imagens hemisféricas, apresentada na Figura 3.

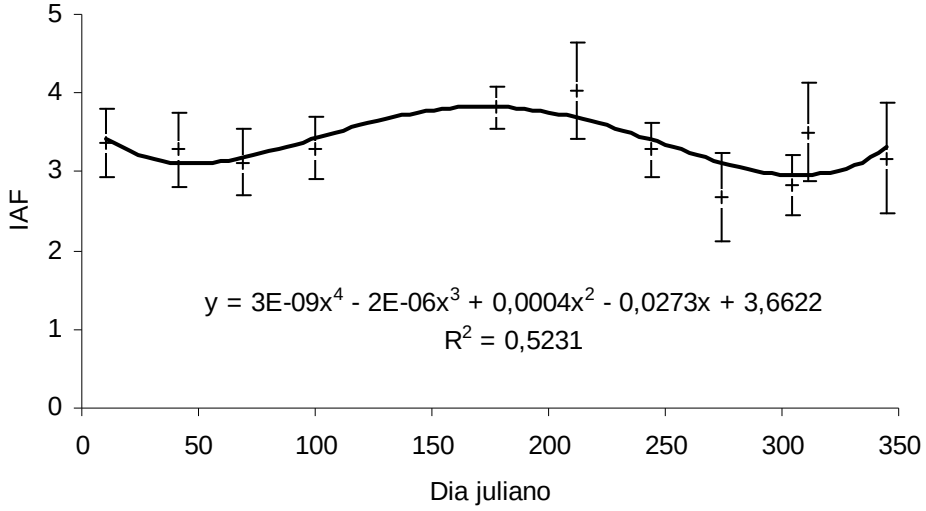

Figura 3. Índice de área foliar obtida por imagens hemisféricas em área de floresta de transição próximo a Sinop – MT.

3.3.2.2 Estimativa da distribuição de raízes

A determinação da distribuição de raízes (profundidade máxima de raiz, profundidade da máxima densidade de raízes, profundidade do segundo ponto de inflexão de densidade de raízes, fração da máxima densidade de raízes encontrada no segundo ponto de inflexão de densidade de raízes) foi realizada conforme EVETT et al. (1994). Para isto, foram coletadas, em setembro de 2004, amostras deformadas de solo com um trado de poço 2" nas profundidades 0 a 0,30, 0,30 a 0,60 e 0,60 a 0,90 m, e em laboratório, as amostras de solo foram peneiradas em peneira de malha de 2 mm e lavadas. Não foram consideradas as raízes com menos de 2 mm devido a sua participação desprezível no peso radicular total. Após secagem, em estufa a 60 °C até o peso constante (SOARES & NASCIMENTO, 1998), obteve-se a massa seca das raízes de cada profundidade. Considerando que a floresta está em estádio estável, assumiu-se que não houve variação considerável na distribuição das raízes, portanto utilizou-se os dados obtidos para o período de estudo deste trabalho (agosto e setembro de 2003).

Foram mantidas as relações entre o potencial da água na folha e a condutância estomática e a radiação solar incidente e a condutância estomática empregadas na versão atual do ENWATBAL.

3.3.3 Variáveis de entrada do modelo ENWATBAL relacionadas à atmosfera

A radiação solar foi utilizada como dado de entrada com intervalo de média a cada trinta minutos, e convertida para MJm^{-2}, unidade de medida exigida no arquivo de entrada de dados diários do programa ENWATBAL.

A temperatura do ar (T_a), máxima e mínima, em ºC, foi medida por um psicrômetro instalado a trinta e seis metros do solo, medindo também a umidade relativa do ar (UR), em %, utilizada para calcular a temperatura do ponto de orvalho (T_o), máxima e mínima, pela equação 5 (OMETTO, 1981; PEREIRA et al., 2002; VIANELLO & ALVES, 2004):

$$e = 4{,}58.10^{\frac{7{,}5.T_o}{237{,}3+T_o}} \quad (5)$$

em que, *e* é a pressão de vapor d'água real (mmHg) calculada pela equação 6:

$$e = \frac{e_s.UR}{100} \quad (6)$$

em que, UR é a umidade relativa do ar (%) medida pelo psicrômetro e e_s é a pressão de saturação do vapor d'água (mmHg) obtida pela equação 7:

$$e_s = 4{,}58.10^{\frac{7{,}5.T_a}{237{,}3+T_a}} \quad (7)$$

em que, T_a é a temperatura do ar (ºC) medida pelo psicrômetro.

A velocidade do vento foi medida por um anemômetro sônico, quantificando a velocidade do vento (ms^{-1}) e a temperatura (ºC) nos três eixos ortogonais.

A precipitação, em mm, foi obtida da estação meteorológica da Fazenda Continental, localizada à aproximadamente 17 km do local de estudo, em área de manejo florestal. Foi medida por um pluviômetro tipo "tupy" e as medições foram diárias.

A pressão atmosférica foi obtida pela equação proposta por VIANELLO & ALVES (2004):

$$P_{atm} = 760.\left(1 - \frac{0{,}0065.z}{288}\right)^{5{,}2568} \quad (8)$$

em que, P_{atm} é a pressão atmosférica (mmHg), que foi convertida para kPa e mbar como exigido pelo programa de análise dos dados, e z é a altitude (423 m).

3.3.4 Constantes no modelo ENWATBAL

As seguintes constantes são utilizadas nos cálculos do modelo ENWATBAL:

- Potencial máximo da água na vegetação (ψ_c = -10 m);
- Resistência específica entre o solo e a vegetação ($r_c = 10^9$ s);
- Constante de Von Karman (k = 0,41);
- Deslocamento no plano (d' = 0 m);
- Constante de Stephan-Boltzmann ($\sigma = 5{,}67 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$);
- Massa específica do ar ($\rho = 1{,}225\ kgm^{-3}$);
- Calor específico do ar ($cp = 1{,}01\ Jkg^{-1}K^{-1}$);
- Rugosidade da superfície (z_0 = 3,9 m).

Para obter a rugosidade da superfície (z_0) foi utilizada a equação proposta por MONTEITH & UNSWORTH (1990):

$$z_0 = 0{,}13 \cdot h \qquad (9)$$

em que, h é a altura do dossel (30 m).

Na Tabela 1 estão apresentadas as variáveis de entrada utilizadas no modelo ENWATBAL, unidade de medida, equipamentos de medida, freqüência de medida dos dados e época de coleta.

Tabela 1. Variáveis de entrada utilizadas no modelo ENWATBAL, equipamentos, unidade de medida, freqüência de medida dos dados e época de coleta.

Variável	Equipamento	Unidade	Freqüência	Época de coleta
Velocidade do vento	Anemômetro Sônico	$m\ s^{-1}$	30 minutos / diária	Agosto e setembro de 2003
Temperatura do ar	Psicrômetro	ºC	30 minutos	Agosto e setembro de 2003
Umidade relativa do ar	Psicrômetro	%	30 minutos	Agosto e setembro de 2003
Temperatura do ponto de orvalho	Calculada	ºC	30 minutos	Para agosto e setembro de 2003
Pressão atmosférica	Calculada	kPa	30 minutos / diária	Para agosto e setembro de 2003
Radiação solar	Piranômetro	Wm^2 / MJm^{-2}	30 minutos / diária	Agosto e setembro de 2003
Precipitação	Pluviômetro tipo "tupy"	mm	30 minutos / diária	Agosto e setembro de 2003
Temperatura máxima do ar	Psicrômetro	ºC	diária	Agosto e setembro de 2003
Temperatura mínima do ar	Psicrômetro	ºC	diária	Agosto e setembro de 2003
Temperatura máxima do ponto de orvalho	Calculada	ºC	diária	Para agosto e setembro de 2003
Temperatura mínima do ponto de orvalho	Calculada	ºC	diária	Para agosto e setembro de 2003
Índice de área foliar	Fotografias hemisféricas	m^2m^{-2}	diária	Junho de 2004 a Abril de 2005 e calculado para agosto e setembro de 2003
Profundidade máxima de raiz	Calculada	m	diária	Setembro de 2004 e calculado para agosto e setembro de 2003
Profundidade da máxima densidade de raízes	Calculada	m	diária	Setembro de 2004 e calculado para agosto e setembro de 2003
Profundidade do segundo ponto de inflexão de densidade de raízes	Calculada	m	diária	Setembro de 2004 e calculado para agosto e setembro de 2003
Fração da máxima densidade de raízes encontrada no segundo ponto de inflexão de densidade de raízes	Calculada	m	diária	Setembro de 2004 e calculado para agosto e setembro de 2003
Conteúdo de água no solo	TDR	m^3m^{-3}	diária	Agosto e setembro de 2003
Temperatura do solo	Termopar	ºC	diária	Agosto e setembro de 2003
Curva de infiltração de água no solo por conteúdo de água no solo	Calculada	ms^{-1} por m^3m^{-3}	diária	Outubro de 2004 e calculado para 2003
Curva de potencial matricial do solo por conteúdo de água no solo	Calculada	m por m^3m^{-3}	diária	Outubro de 2004 e calculado para 2003

3.4 DESCRIÇÃO DO MODELO ENWATBAL

Para análise dos dados foi utilizado um modelo de simulação matemático denominado ENWATBAL (Energy and Water Balance) (LASCANO et al., 1987; VAN BAVEL & LASCANO, 1987; EVETT & LASCANO, 1993).

Segundo EVETT & LASCANO (1993), o fluxo de água em cada camada do solo, incluindo a infiltração, é calculado, no ENWATBAL, usando a Lei de Darcy. Quando a intensidade da precipitação é inferior à capacidade de infiltração no momento, o valor máximo do fluxo é a intensidade da chuva. Quando maior, o valor do fluxo tem como limite a diferença acumulada entre intensidade da chuva e a capacidade de infiltração. O fluxo de água na profundidade máxima é igual à condutividade hidráulica da última camada, equivalente a um gradiente hidráulico unitário, ou gradiente nulo de umidade. A capacidade de infiltração num dado momento, *J*inf (ms^{-1}), é calculada por:

$$J\inf = \psi_{s1}.\left(\frac{K_s + K_1}{2}\right)/\Delta z_1 \qquad (10)$$

em que, ψ_{s1} é o potencial da água no solo na camada superficial (m), K_s é a condutividade hidráulica saturada (ms^{-1}), K_1 é a condutividade hidráulica da camada superficial (ms^{-1}), na umidade atual, e Δz_1 é a metade da espessura da camada superficial (m).

A absorção de água pelas raízes na camada i, RC_i (ms^{-1}), é obtida por:

$$RC_i = \frac{(\psi_c - \psi_{\max} - \psi_s)\cdot RD_i \cdot IAF}{r_c} \qquad (11)$$

em que, ψ_c é o potencial efetivo da água na vegetação (m), $\psi_{\max}$ é o potencial máximo da água na vegetação (m), ψ_s é o potencial da água no solo na camada i (m), RD_i é a densidade de raízes (adimensional), IAF é o índice de área foliar (m^2m^{-2}), e r_c é a resistência específica entre o solo e a vegetação (s). O potencial máximo da água na vegetação (ψ_c = -10m), e a resistência específica entre o solo e a vegetação ($r_c = 10^9$s), são valores constantes na versão atual do ENWATBAL.

O potencial efetivo da água no solo ψ_{se} é computado como média ponderada dos potenciais nas camadas, usando como pesos as densidades de raízes nas camadas.

O potencial efetivo da água na vegetação é calculado num processo iterativo, entre os limites de -3000 m e zero, usando 0,01 m como critério de convergência, por meio das equações 12 a 20:

$$g_1 = f(\psi_c) \tag{12}$$

em que, g_1 é condutância epidérmica parcial (ms^{-1}), que é uma função previamente definida do potencial da água na vegetação, e foi a função utilizada no programa original. A condutância epidérmica total (g, ms^{-1}) é dada por:

$$g = 2/\left(\frac{1}{g_1}+\frac{1}{g_2}\right) \tag{13}$$

em que, g_2 é a parte da condutância em função da radiação solar global incidente, e foi a função utilizada no programa original.

$$g_2 = f(R_s) \tag{14}$$

A resistência epidérmica total (r_e, sm^{-1}), por unidade de área do terreno, é dada por:

$$r_e = \frac{1}{(g.IAF)} \tag{15}$$

A resistência ao fluxo de calor latente (r_v, sm^{-1}), é a soma da resistência aerodinâmica ($r_{a,v}$) mais a resistência epidérmica total:

$$r_v = r_{a,v}+r_e \tag{16}$$

$$r_{a,v} = \frac{\left(Ln\left(z_0 - d'\right)\right)^2}{\left(k^2.u\right)} \tag{17}$$

em que, u é a velocidade do vento (ms^{-1}), k é a constante de Von Karman (0,41), d' é o deslocamento do plano zero (0 m), e z_0 é rugosidade da superfície (3,9 m).

A taxa de transpiração (T_r, $kgm^{-1}s^{-1}$) é calculada por:

$$T_r = \frac{\left(UA_l - UA_a\right)}{r_v} \tag{18}$$

em que, UA_l e UA_a são as umidades absolutas, em kgm^{-3}, na folha e no ar, respectivamente.

$$UA_1 = 1{,}323^{\left(\frac{(17{,}27.T_l)/(237{,}3+T_l)}{(273{,}16+T_l)}\right)} \quad (19)$$

Assim, o valor de ψ_c (potencial efetivo da água na vegetação) é recalculado por:

$$\psi_c = \frac{\psi_{se} + \psi_{\max} - T_r.r_c}{IAF} \quad (20)$$

A taxa de transpiração é calculada com base no balanço de energia, usando um processo iterativo para obter a temperatura do dossel. Nesse caso, os limites de variação para a temperatura são a temperatura medida do ar (T_a, ^oC) e o valor de 100 ^oC, com 0,01 ^oC como critério de convergência, usando as equações 21 a 29:

$$R_{L,c} = \sigma.(T_l+273{,}16)^4 \quad (21)$$

em que, $R_{L,c}$ é a radiação de onda longa emitida pela vegetação (Wm^{-2}), σ é a constante de Stephan-Boltzmann (5,67 x $10^{-8}Wm^{-2}K^{-4}$), e T_l é a temperatura da vegetação (^oC).

O saldo de radiação na vegetação ($Rn_{,c}$, Wm^{-2}) é dado por:

$$Rn_{,c} = \alpha_{s,c}.R_s+(1-V_{sky})(R_{L,s}-R_{L,c}) \quad (22)$$

em que, $\alpha_{s,c}$ é a absortância de onda curta da vegetação, V_{sky} é a transmitância da vegetação, que é obtida como uma função de IAF, e $R_{L,s}$ é a radiação de onda longa proveniente da atmosfera (Wm^{-2}).

$$\alpha_{s,c} = 0{,}5809.IAF-0{,}2231.IAF^2+0{,}0464.IAF^3-0{,}004759.IAF^4+0{,}0001875.IAF^5 \quad (23)$$

$$V_{sky} = 1-0{,}678.IAF+0{,}2052.IAF^2-0{,}02799.IAF^3+0{,}001383.IAF^4 \quad (24)$$

$$R_{L,s} = \sigma.(T_a+273{,}16)^4.(0{,}70+0{,}08241.UA_a exp(1500/T_a)(1{,}2-0{,}2R_s/R_{smax}) \quad (25)$$

em que, R_{smax} é a radiação global incidente em condições de céu limpo (Wm^{-2}).

$$R_{smax} = 0{,}8646+7{,}2396SAN+0{,}43386SAN^2-0{,}006192SAN^3+0{,}000026677SAN^4 \quad (26)$$

em que, SAN é o ângulo de elevação do sol.

O fluxo de calor latente da vegetação (LE_c, Wm^{-2}) é calculado por:

$$LE_c = \frac{L(UA_1 - UA_a)}{r_v} \quad (27)$$

em que, L é o calor de vaporização da água.

O fluxo de calor sensível da vegetação (H_c, em Wm^{-2}) é dado por:

$$H_c = Rn_{,c} - LE_c \quad (28)$$

Finalmente, o valor de T_l (temperatura da vegetação) é recalculado por:

$$T_1 = \frac{H_c.r_v}{\rho.cp + T_a} \quad (29)$$

em que, ρ é a massa específica do ar (1,225 kgm^{-3}) e cp é o calor específico do ar (1,01 $Jkg^{-1}K^{-1}$).

A temperatura da superfície do solo (T_s, ^oC) e a evaporação (E_s, ms^{-1}) são calculadas também por processo iterativo. Nesse caso, os limites de variação para a temperatura são a temperatura medida do ar (T_a, ^oC) e o valor de 100 ^oC, com 0,01 ^oC como critério de convergência, utilizando as equações 30 a 39. O processo iterativo se inicia pelo cálculo da radiação emitida pela superfície do solo ($R_{L,ss}$, Wm^{-2}), dada por:

$$R_{L,ss} = \sigma.(T_s+273,16)^4 \quad (30)$$

O saldo de radiação na superfície do solo ($Rn_{,s}$, Wm^{-2}) é calculado por:

$$Rn_{,s} = \alpha_{s,s}.R_s+(1-V_{sky}).R_{L,c}+V_{sky}.R_{L,s}- R_{L,ss} \quad (31)$$

em que, $\alpha_{s,s}$ é a absortância de onda curta da superfície do solo.

$$\alpha_{s,s}=0,825-0,6447IAF+0,2646IAF^2-0,05695IAF^3+0,005937IAF^4+0,0002355IAF^5 \quad (32)$$

A umidade absoluta de saturação na superfície do solo ($UA_{v,o}$, kgm^{-3}) é obtida por:

$$UA_{v,o} = 1{,}323^{\left(\frac{(17,27.T_s)/(237,3+T_s)}{(273,16+T_s)}\right)} \quad (33)$$

A umidade absoluta real na superfície do solo ($UA_{v,s}$, kgm^{-3}) é obtida por:

$$UA_{v,s} = UA_{v,o}^{(\psi_{s1}/(46,97.(273,16+T_s)))} \quad (34)$$

em que, ψ_{s1} é o potencial da água no solo na camada superficial.

O fluxo de calor latente do solo (LE_s, Wm^{-2}) é calculado por:

$$LE_s = \frac{L\left(UA_{v,s} - UA_{v,o}\right)}{r_{a,s}} \quad (35)$$

em que, $r_{a,s}$ é a resistência aerodinâmica na superfície do solo, dada por:

$$r_{a,s} = r_{a,v}^{IAF} \quad (36)$$

O fluxo de calor sensível proveniente do solo (H_s, Wm^{-2}) é dado por:

$$H_s = \frac{\rho.cp.\left(T_s - T_a\right)}{r_{a,s}} \quad (37)$$

O fluxo de calor por condução, na superfície do solo (G, Wm^{-2}) é dado por:

$$G = Rn_{,s}\text{-}H_s\text{-}LE_s \quad (38)$$

Finalmente, o valor de T_s (temperatura da superfície do solo) é recalculado por:

$$T_s = \frac{G.\Delta z_1}{K + T_{s,1}} \quad (39)$$

em que, K é a condutividade térmica da camada superficial do solo ($Wm^{-1o}C^{-1}$).

3.5 SIMULAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO ENWATBAL

A simulação foi feita para intervalos de 5, 10, 15, 20 e 25 dias, com dados de trinta minutos e diários do dia juliano 219 a 241 (7 a 29 de agosto) e 243 a 268 (31 de agosto a 25 de setembro) de 2003. A utilização desta série de dados se deve ao fato de que havia uma sequência sem falhas nos dados registrados obtidos dos sensores instalados na torre micrometeorológica.

Na Tabela 2 estão apresentadas as séries de dados utilizados e intervalos de dias de simulação utilizados para simulação/validação do modelo ENWATBAL.

Tabela 2. Dias juliano utilizados para cada intervalos de dias de simulação no modelo ENWATBAL, tanto para dados de trinta minutos quanto para dados diários.

Intervalo de dias	Dias juliano
5	220 a 239 / 244 a 267
10	220 a 239 / 244 a 263
15	220 a 234 / 244 a 258
20	220 a 239 / 244 a 263
25	244 a 267

A validação do modelo foi realizada, segundo CAMARGO & SENTELHA (1997), correlacionando os dados medidos com os modelados, por meio de análise de regressão linear, considerando os indicadores estatísticos de precisão – coeficiente de correlação (r), de exatidão ou concordância – índice de Willmont (d) e de confiança

ou desempenho (c).

O indicador estatístico de precisão é dado pelo coeficiente de correlação "r" que indica o grau de dispersão dos dados em relação à média.

O de exatidão está relacionado ao afastamento dos valores calculados em relação aos medidos e é dado pelo índice de concordância "d". Os valores do índice variam de zero (nenhuma concordância) a 1 (concordância perfeita). É obtido pela equação proposta por Willmont e colaboradores em 1985, apresentada por CAMARGO & SENTELHA (1997):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum (Pi - Oi)^2}{\sum \left(|Pi - O| + |Oi - O| \right)^2} \right] \tag{40}$$

em que, Pi é o valor calculado, Oi o valor medido e O a média dos valores medidos.

O índice de confiança "c" indica o desempenho do modelo reunindo os índices de precisão "r" e de exatidão "d", onde os valores do índice variam de zero, para confiança nula, e 1, para confiança perfeita. É dado por:

$$c = r \, . \, d \tag{41}$$

Foram utilizados os critérios apresentados na Tabela 3 para interpretar o desempenho do modelo ENWATBAL.

Tabela 3. Critério de interpretação do desempenho do modelo ENWATBAL pelo índice "c".

Valor de "c"	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Nota: Adaptação de CAMARGO & SENTELHA (1997).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras de 5 a 10 estão os valores de conteúdo de água no solo medidos e modelados pelo ENWATBAL com dados de entrada fornecidos em intervalos de 30 minutos, durante cinco, dez, quinze, vinte e vinte e cinco dias, nas profundidades de 0,05 m, 0,25 m e 0,70 m, em área de floresta de transição próxima a Sinop – MT.

O modelo tendeu a subestimar os dados calculados até o dia 15/09 (Dia Juliano = 258) para as profundidades 0,05 e 0,25 m. Na profundidade 0,70 m os valores medidos e modelados foram semelhantes até a mesma data. A partir do dia 259 houve uma inversão dessa tendência. Isso se deve ao fato de ter ocorrido precipitação nos dias 259, 260 e 264 e como consequência um aumento no conteúdo de água no solo medido depois do dia 258, influenciando na simulação, superestimando e subestimando em algumas situações. Do dia juliano 219 a 258 (07 de agosto a 14 de setembro) não houve precipitação na área estudada (Figura 4).

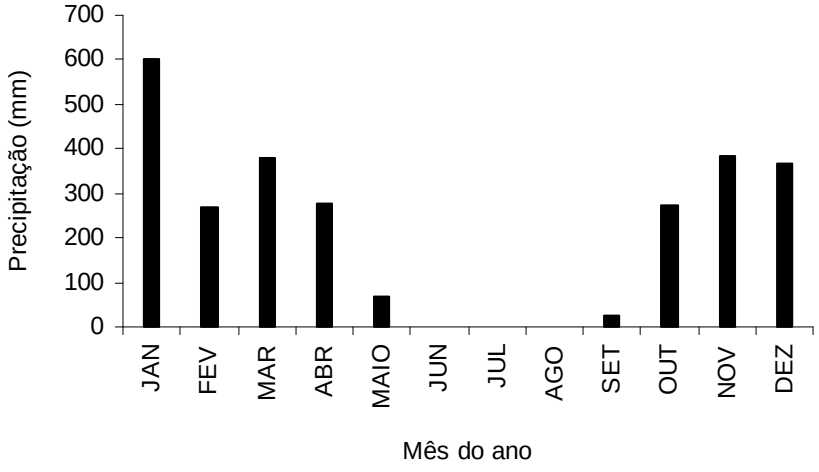

Figura 4. Precipitação do ano de 2003 medida na estação meteorológica da Fazenda Continental, Sinop – MT.

Pesquisas realizadas com o uso do ENWATBAL desenvolvidas em ambiente de monocultivo, para avaliar a umidade do solo, também revelaram que a umidade medida foi subestimada e superestimada em algumas profundidades do solo, como CAMPELO JÚNIOR et al. (2002), em estudo com pastagem *Paspalum atratum*, em condição de cerrado e KLEIN et al. (2004) num estudo com algodão *Gossypium hirsutum* raça *latifolium*, em condições de cerrado.

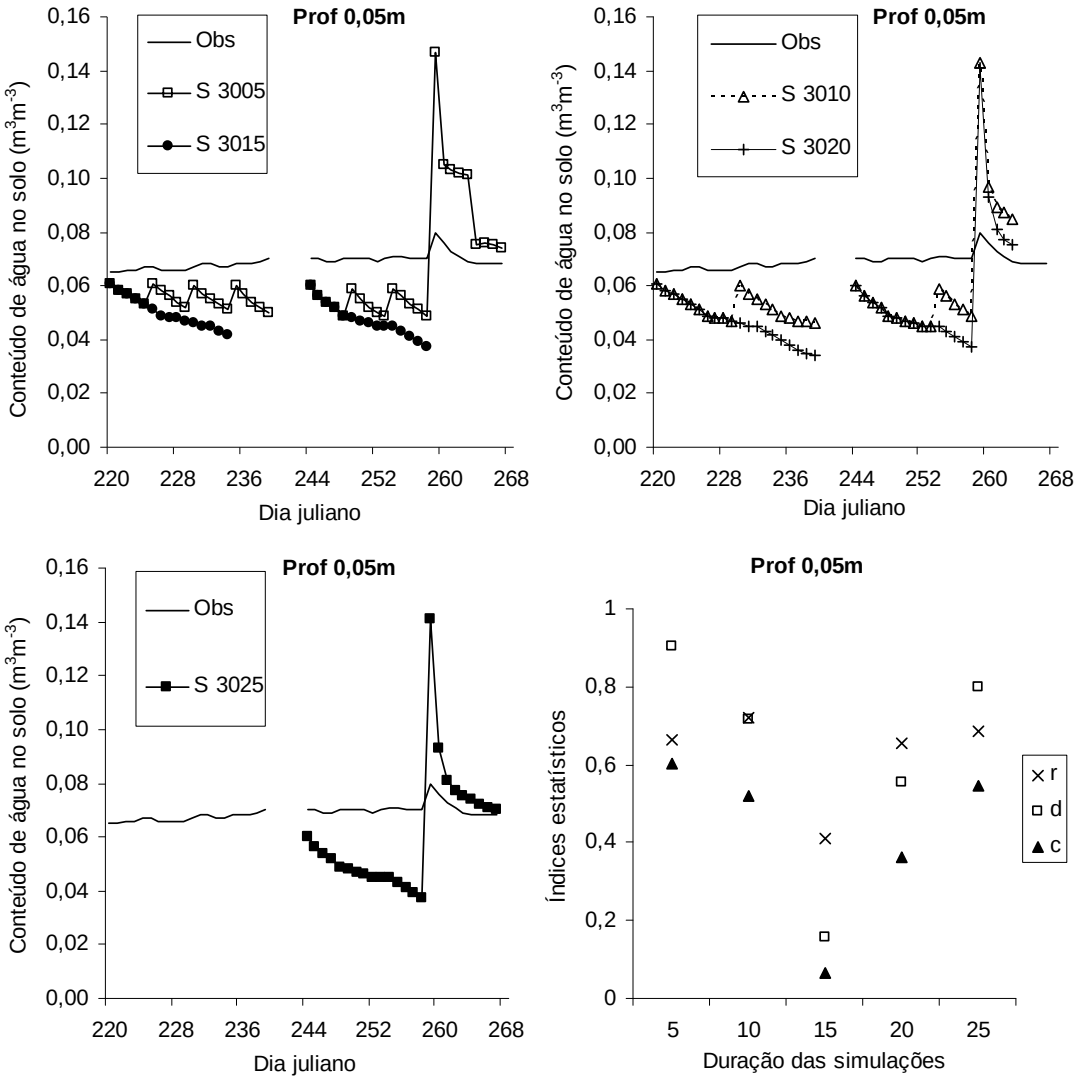

Figura 5. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) a cada 30 minutos medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05 (S3005), 10 (S3010), 15 (S3015), 20 (S3020) e 25 (S3025) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

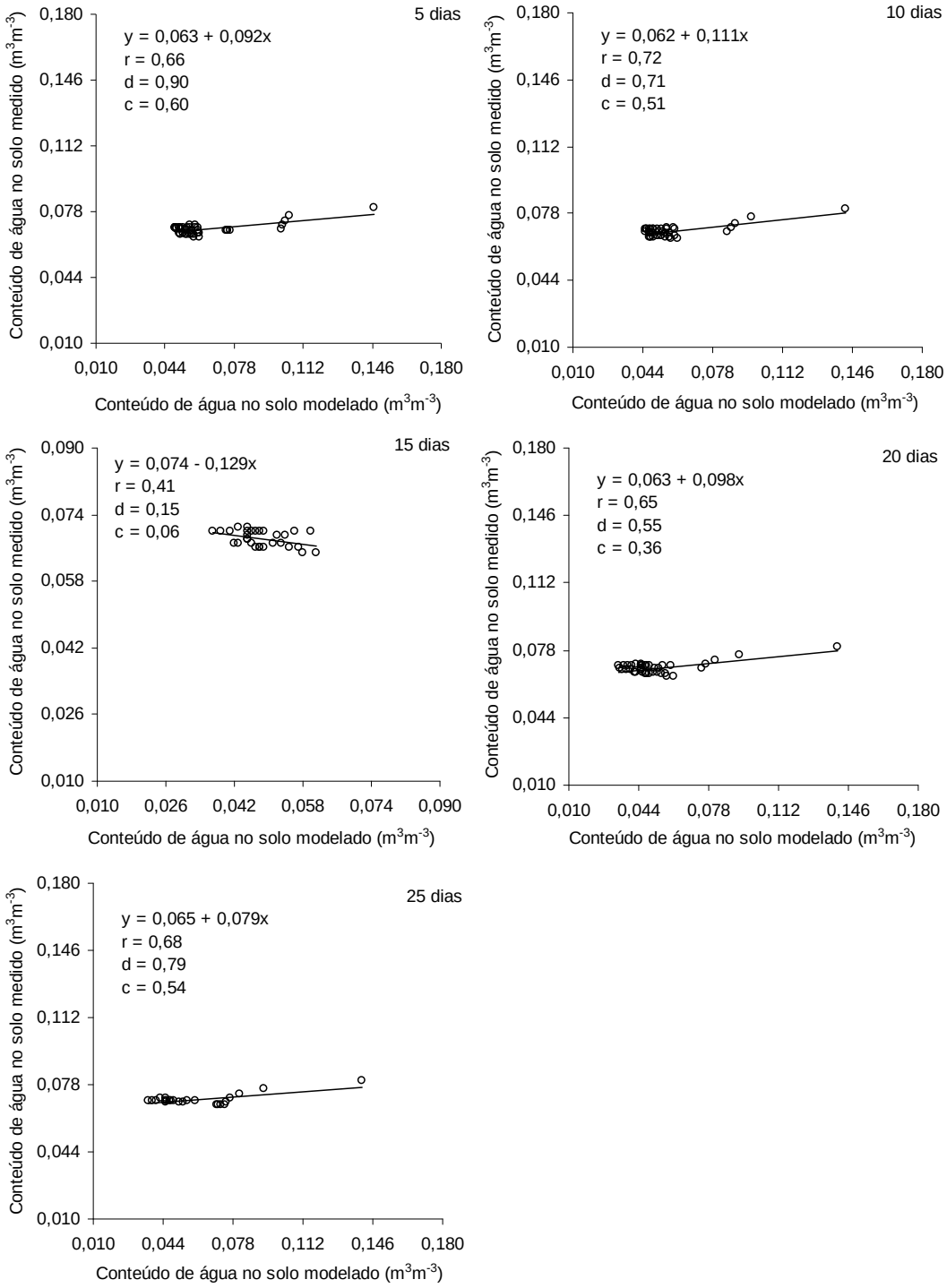

Figura 6. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, a cada 30 minutos, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

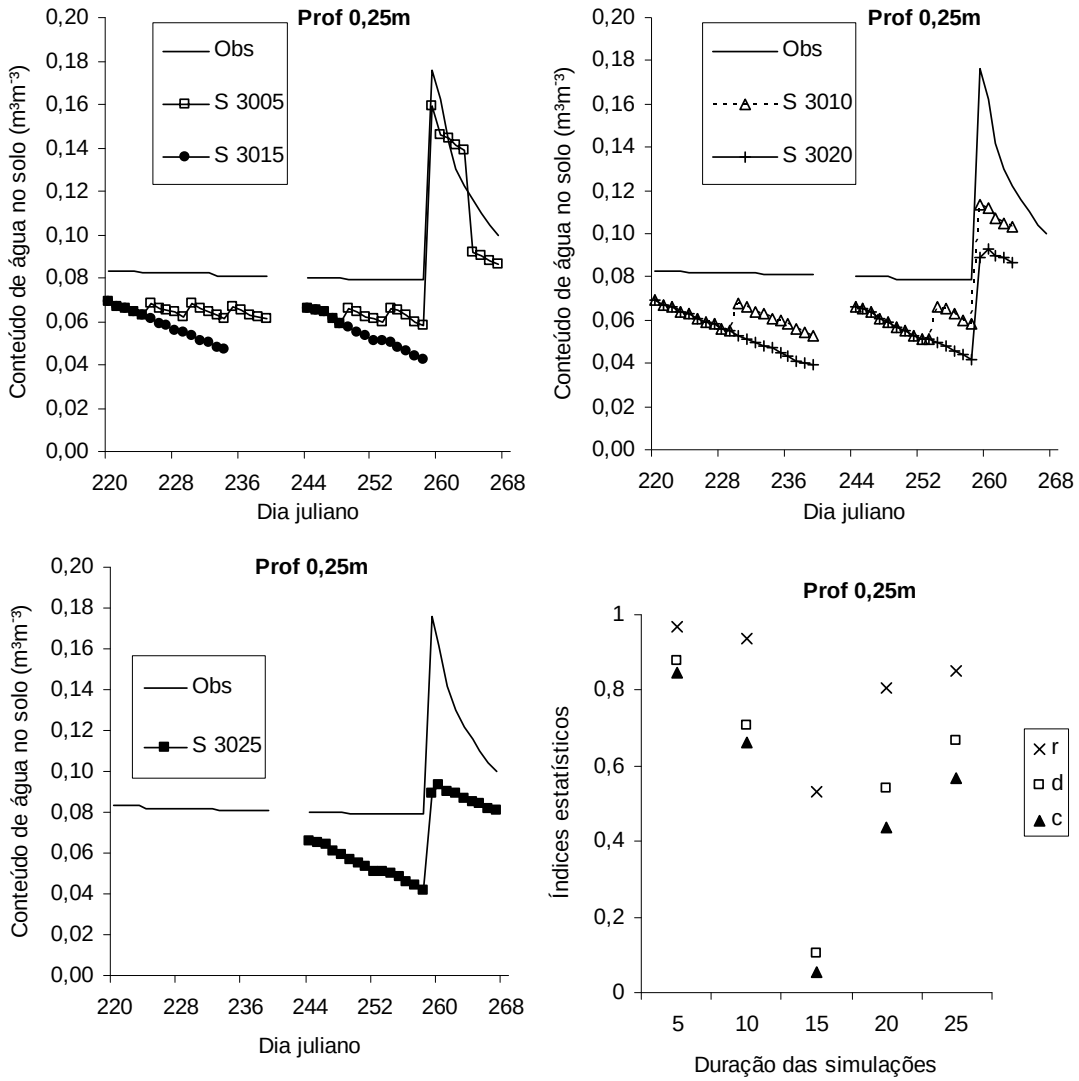

Figura 7. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) a cada 30 minutos medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05 (S3005), 10 (S3010), 15 (S3015), 20 (S3020) e 25 (S3025) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

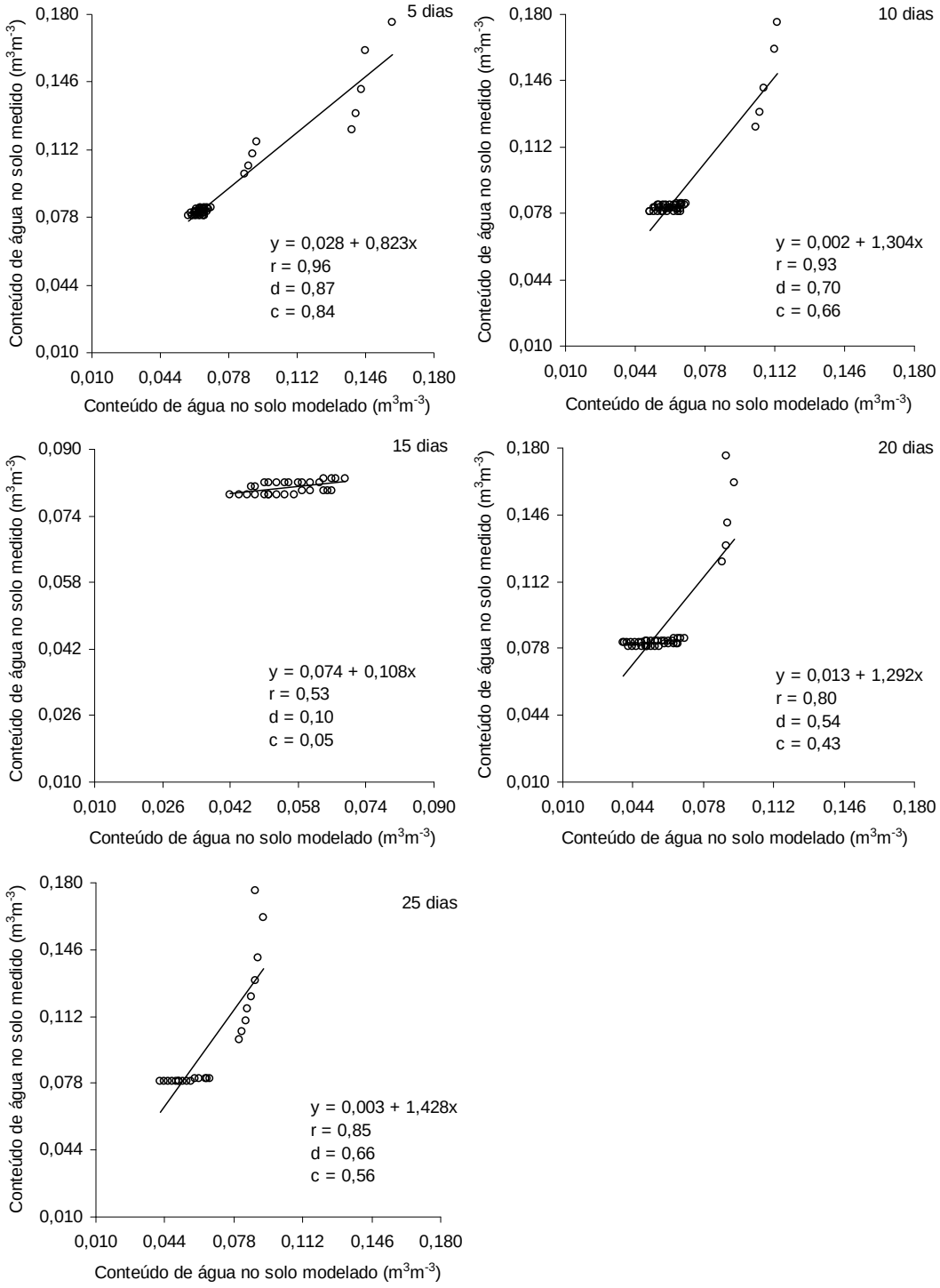

Figura 8. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, a cada 30 minutos, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

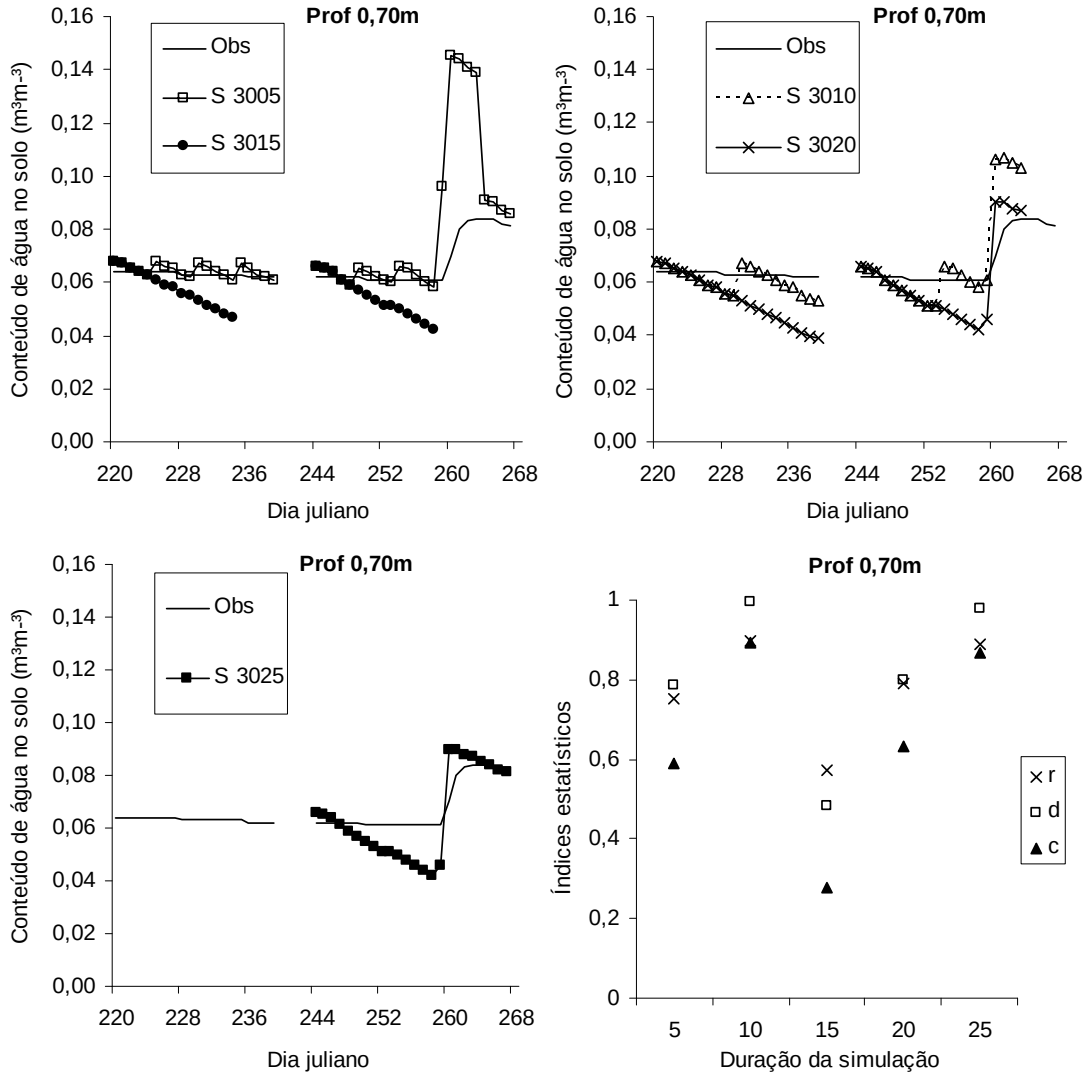

Figura 9. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) a cada 30 minutos medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05 (S3005), 10 (S3010), 15 (S3015), 20 (S3020) e 25 (S3025) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

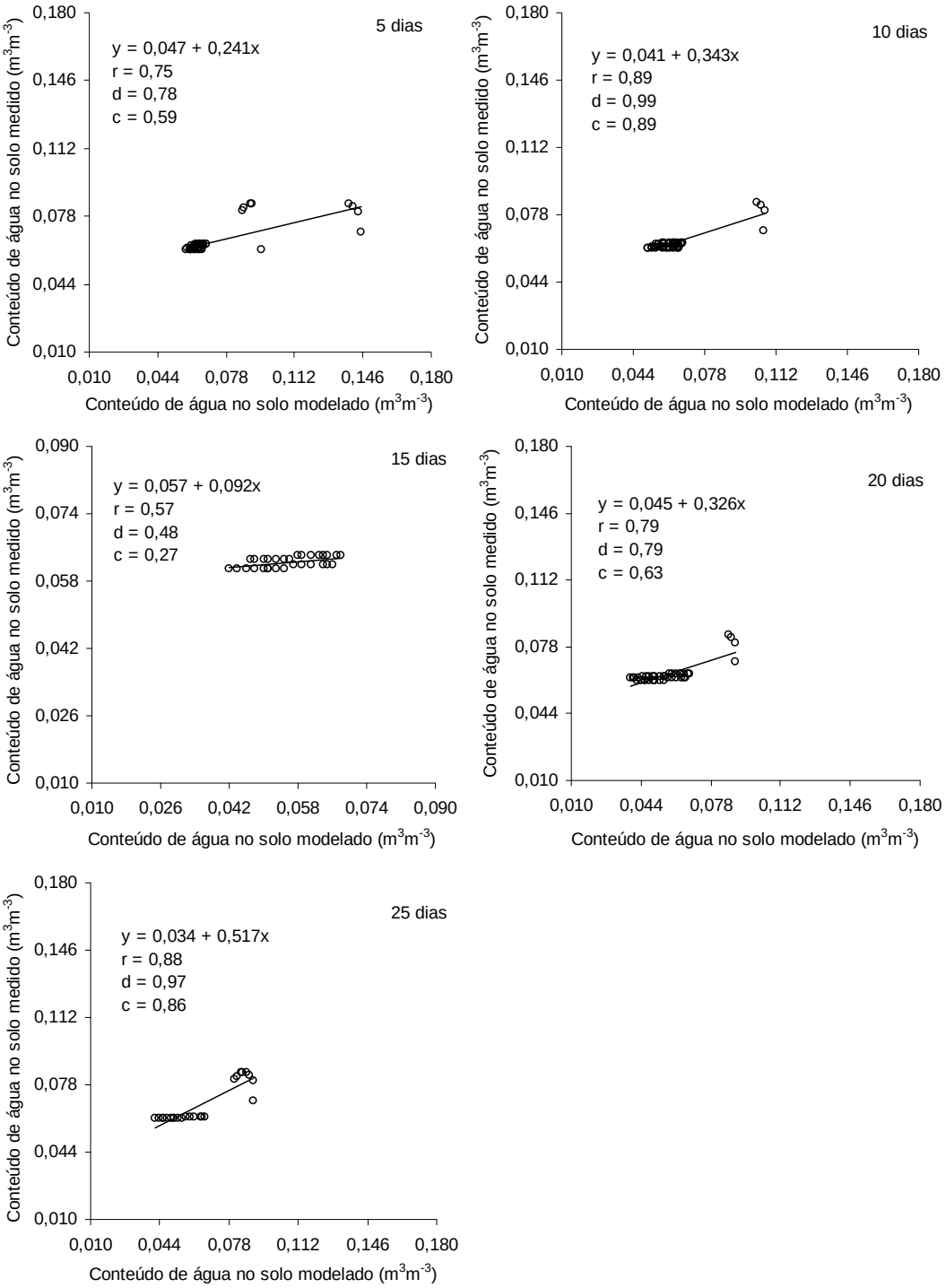

Figura 10. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, a cada 30 minutos, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

Nas Figuras 6, 8 e 10 podem ser observadas as correlações entre os dados de conteúdo de água no solo modelados e medidos com os indicadores estatísticos de precisão (r), exatidão (d) e de desempenho (c).

O índice de precisão "r" apresentou melhor valor para a profundidade 0,25 m, com 0,96, para a simulação de cinco dias e r = 0,93 para a simulação de dez dias. O pior índice foi na simulação de quinze dias para 0,05 m, com 0,41, indicando dispersão dos dados obtidos em relação a média.

Para o índice de exatidão "d", o valor que se aproximou de uma concordância perfeita, foi de 0,99 na profundidade de 0,70 m, para a simulação de dez dias, e de 0,97 para a simulação de vinte e cinco dias. Para a profundidade de 0,05 m, na simulação de cinco dias, o valor foi de 0,90. E nas demais situações os valores do índice de exatidão (d) foram menores, ficando evidente que houve um relativo afastamento dos valores modelados em relação aos valores observados de conteúdo de água no solo.

Quanto ao índice de desempenho ou confiança (c), o modelo ENWATBAL apresentou desempenho considerado Ótimo, com c = 0,89, para simulação com dados de dez dias e c = 0,86 com dados de vinte e cinco dias na profundidade 0,70 m. Nos demais dias, o desempenho foi de Mediano a Péssimo.

Para a profundidade 0,25 m, se apresentou Muito Bom na simulação de cinco dias (c = 0,84) e Bom (c = 0,66) para a de dez dias. E desempenho Sofrível a Péssimo, nos demais dias.

Na simulação para 0,05 m em todos os intervalos de dados houve desempenho Sofrível e Péssimo, com índice "c" inferiores a 0,60, apresentando pouca confiabilidade nesta simulação.

A simulação para quinze dias apresentou desempenho Péssimo nas três profundidades. O que pode ter influenciado é o fato de a série de dados utilizada não ter compreendido os dias em que houve precipitação, tendendo subestimar os valores modelados, e como visto anteriormente a precipitação interferiu nos valores modelados nas outras situações consideradas.

Na simulação com dados de entrada de 30 minutos o melhor desempenho foi para a profundidade de 0,70 m com dados de dez (Ótimo) e vinte e cinco (Ótimo) dias, e para 0,25 m com dados de cinco (Muito Bom) e dez (Bom) dias, mostrando

confiabilidade na modelagem com os dados nestes intervalos de dias e nestas profundidades.

BIUDES (2008) utilizou o ENWATBAL num estudo sobre balanço de energia em área de vegetação de cambará e pastagem no Pantanal e avaliou o desempenho dos valores estimados pelo programa em diversas situações e teve resultados que variaram do Ótimo ao Péssimo.

Em outro estudo, a avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa de evapotranspiração foi realizada por CAMARGO & SENTELHAS (1997) e obtiveram resultados com desempenho Muito Bom, Bom, Mediano em alguns métodos e em outros tiveram desempenho Sofrível, Mau e Péssimo, apresentando pouca confiabilidade nas estimativas.

Observando os valores de "r", "c" e "d" a simulação que apresenta os melhores resultados, entre 0,80 e 1, é a de cinco dias na profundidade de 0,25 m (Figuras 7 e 8) e as de dez e vinte e cinco dias na profundidade de 0,70 m (Figuras 9 e 10).

Os valores de conteúdo de água no solo medidos e modelados com dados de entrada fornecidos em intervalos diários estão nas Figuras de 11 a 16.

Assim como na simulação do ENWATBAL com dados de entrada em intervalos de 30 minutos, o intervalo de dados diários apresentou tendência a subestimar os dados modelados até o dia juliano 258 nas profundidades 0,05 m e 0,25 m.

Para a profundidade 0,70 m os valores medidos e modelados foram semelhantes até o dia 258, mas a partir do dia 259 houve uma inversão dessa tendência em virtude da precipitação ocorrida (Figura 4) como comentado anteriormente na simulação com dados de 30 minutos.

DURAN & CAMPELO JÚNIOR (2008) concluíram que o modelo ENWATBAL pode subestimar ou superestimar a umidade volumétrica nas camadas do solo, mas é eficaz na estimativa do armazenamento de água no perfil, em um sistema agroflorestal.

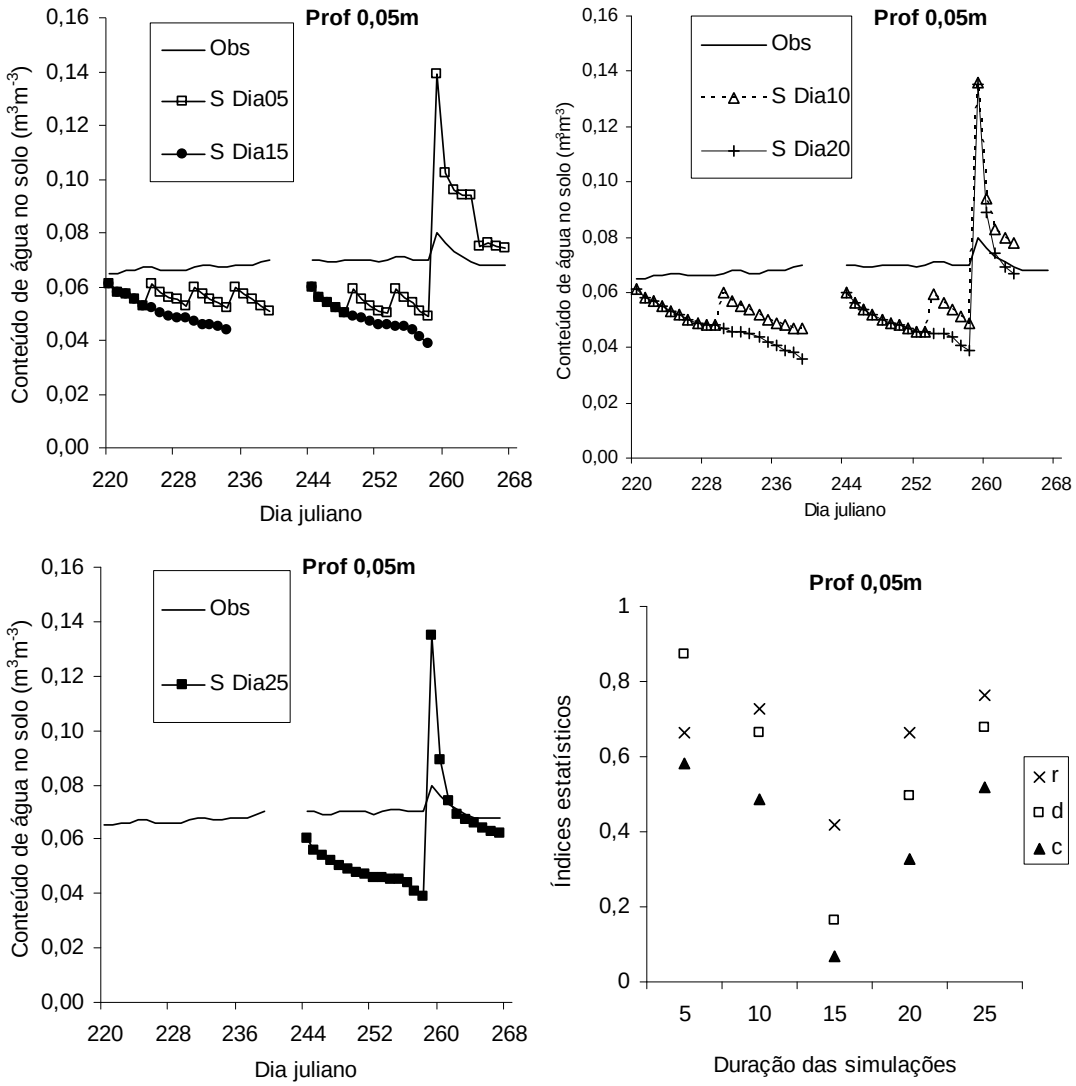

Figura 11. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) diário medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05 (SDia05), 10 (SDia10), 15 (SDia15), 20 (SDia20) e 25 (SDia25) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

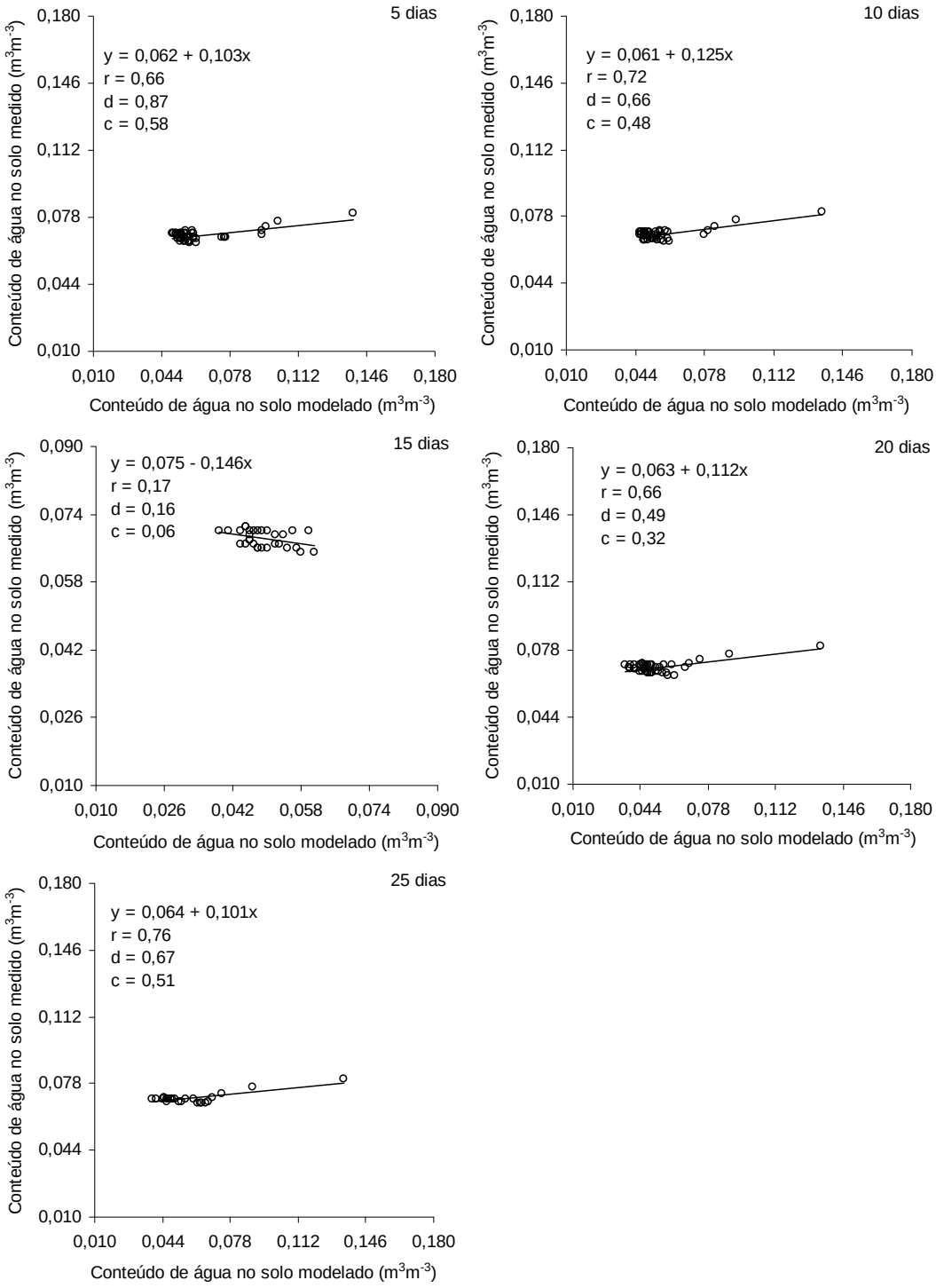

Figura 12. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, com simulação diária, na profundidade 0,05 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

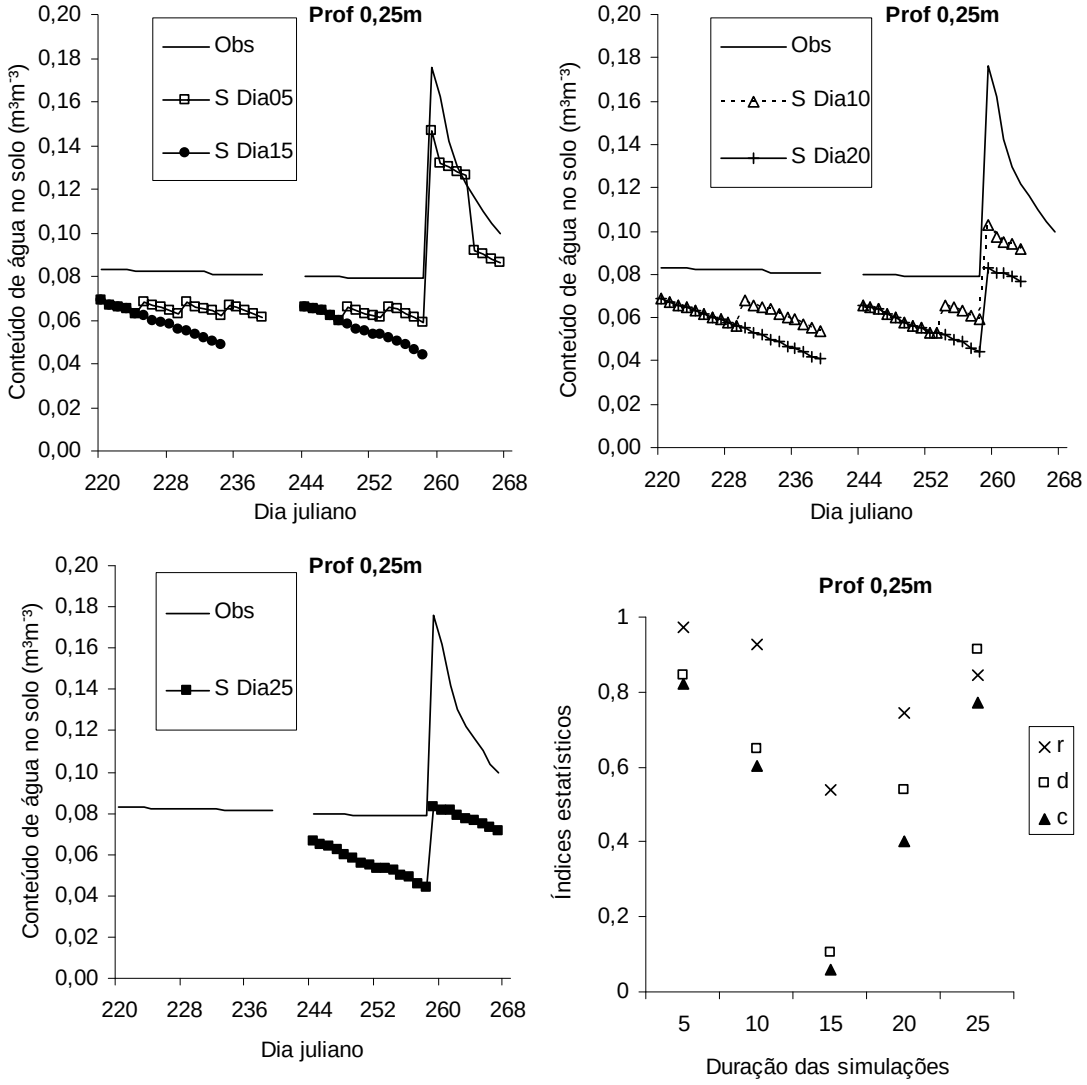

Figura 13. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) diário medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05 (SDia05), 10 (SDia10), 15 (SDia15), 20 (SDia20) e 25 (SDia25) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

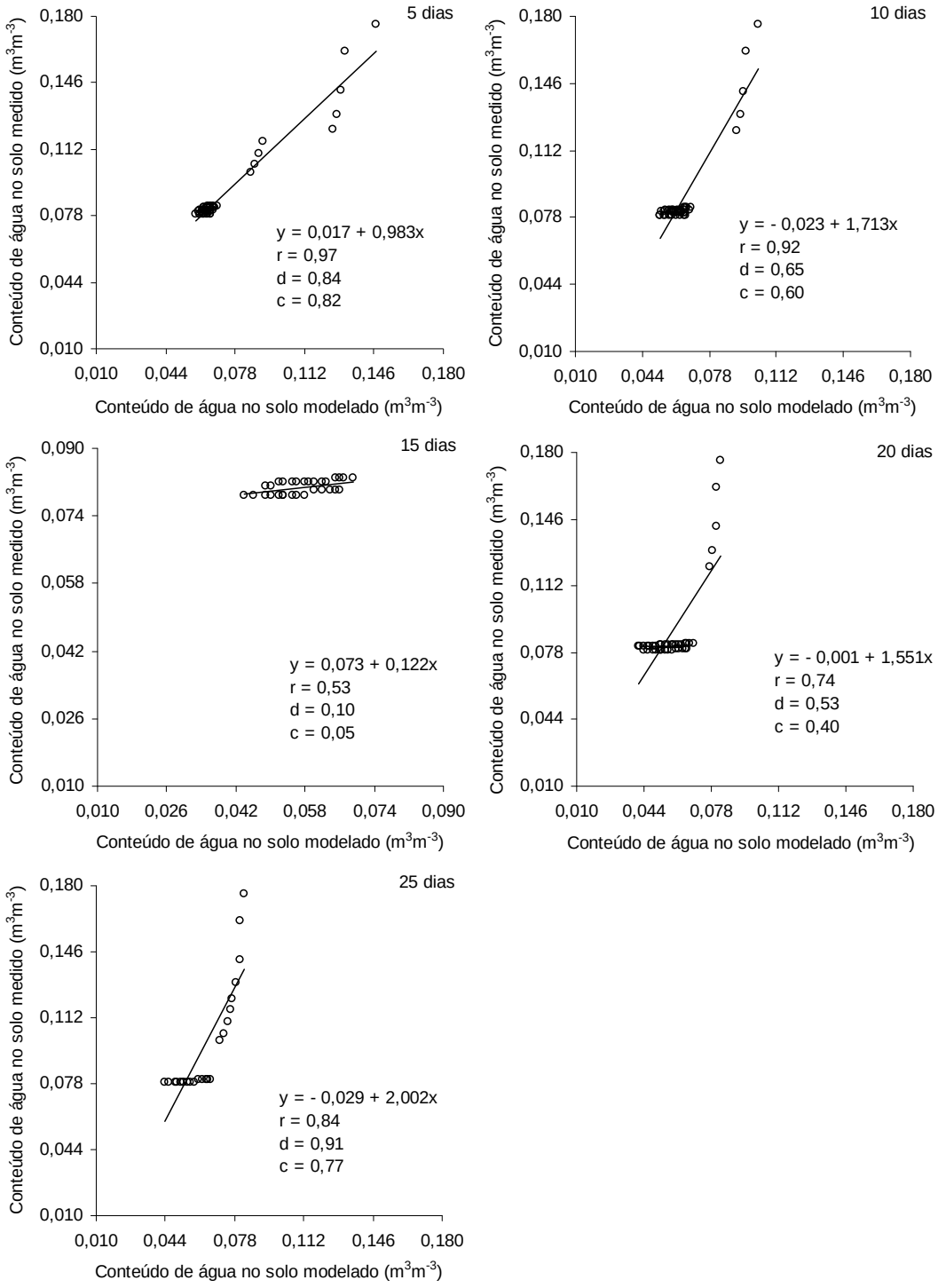

Figura 14. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, com simulação diária, na profundidade 0,25 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

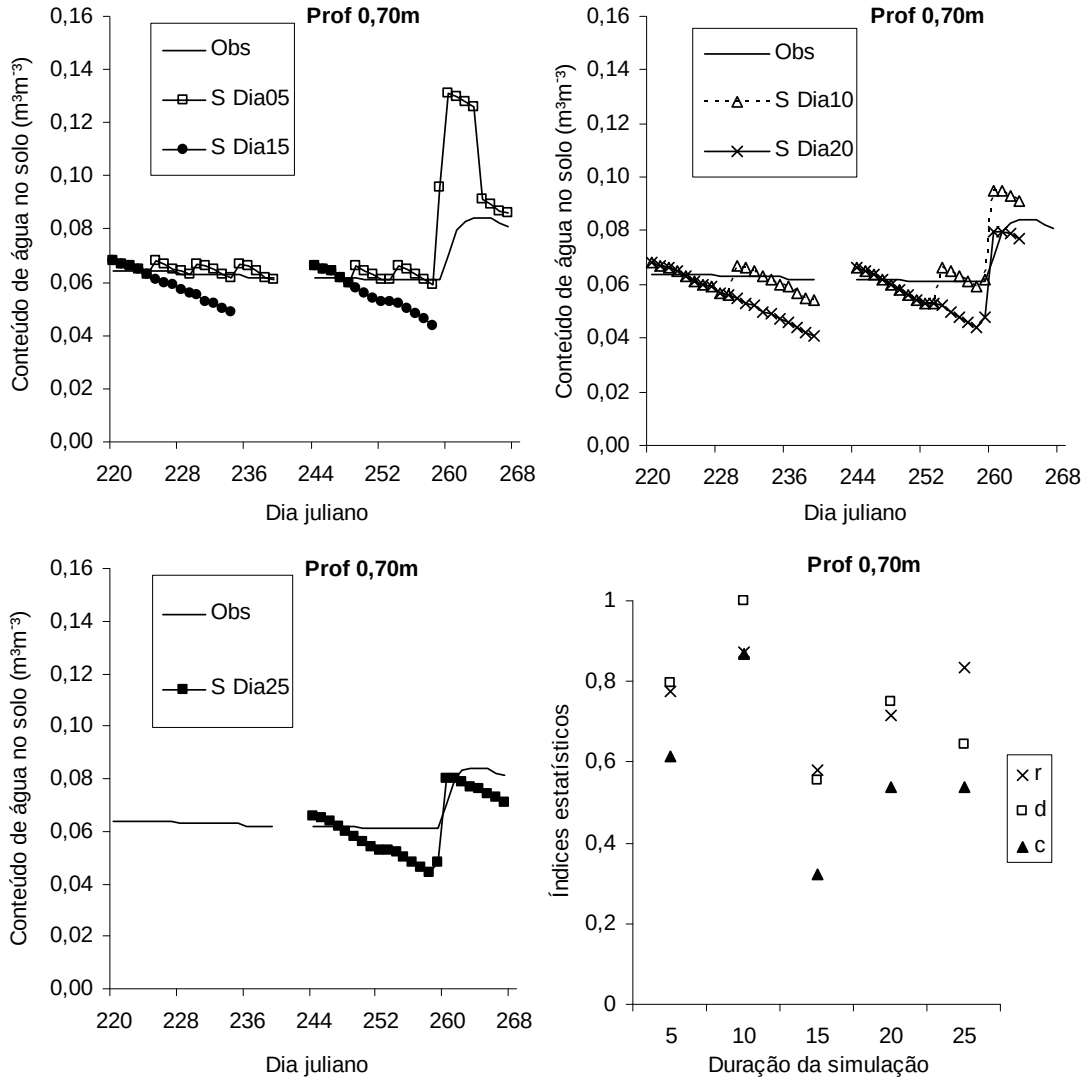

Figura 15. Conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) diário medido (Obs) e modelado pelo ENWATBAL, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05 (SDia05), 10 (SDia10), 15 (SDia15), 20 (SDia20) e 25 (SDia25) dias em uma área de floresta de transição e índices estatísticos (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

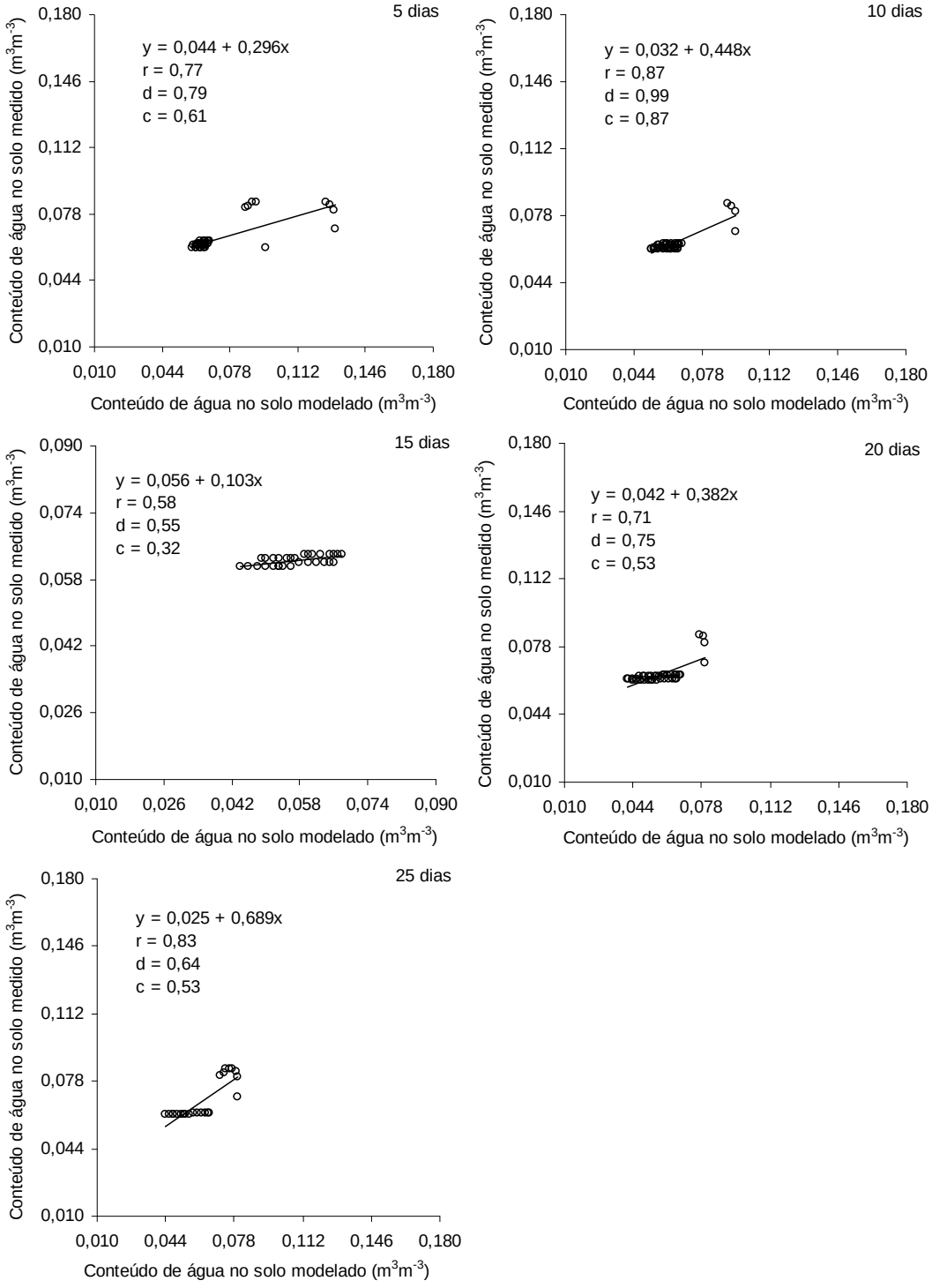

Figura 16. Relação entre o conteúdo de água no solo (m^3m^{-3}) medido e modelado pelo ENWATBAL, com simulação diária, na profundidade 0,70 metros, com duração de simulação para 05, 10, 15, 20 e 25 dias, em área de floresta de transição, de agosto a setembro de 2003. (r – indicador estatístico de precisão; d – indicador estatístico de exatidão; c – indicador estatístico de desempenho).

As Figuras 12, 14 e 16 apresentam as correlações entre os dados de conteúdo de água no solo modelados e medidos com os indicadores estatísticos r (precisão), d (exatidão) e c (desempenho) para os dados de entrada diários.

O índice de precisão apresentou melhor valor para a profundidade 0,25 m, com r = 0,97, para a simulação de cinco dias e r = 0,92 para a de dez dias. O pior índice foi na simulação de quinze dias para 0,05 m, com r = 0,41. Esta situação ocorreu também na simulação com os dados de entrada de 30 minutos, mas diferindo nos valores de "r" na profundidade 0,25 m.

O valor que se aproximou de uma concordância perfeita, para o índice de exatidão, foi d = 0,99 na profundidade de 0,70 m, para a simulação de dez dias. Foi o que aconteceu também na simulação com os dados de 30 minutos. E na profundidade de 0,25 m, o valor foi d = 0,91, na simulação de vinte e cinco dias.

Nas outras situações os valores do índice de exatidão "d" foram menores, ficando evidente que houve um relativo afastamento dos valores modelados em relação aos valores medidos; como visto na simulação com dados de entrada de 30 minutos.

O modelo apresentou índice de desempenho Ótimo (c = 0,87) na profundidade 0,70 m, para simulação com dados de dez dias, isto ocorreu também na simulação de 30 minutos. E desempenho Mediano a Péssimo, nos demais dias.

Se apresentou Muito Bom para a profundidade 0,25 m, nas simulações de cinco e de vinte e cinco dias, c = 0,82 e c = 0,77, respectivamente. Nos outros dias, desempenho Sofrível e Péssimo.

E de Sofrível a Péssimo na profundidade 0,05 m, para todos os intervalos de dados, com índice "c" inferiores a 0,58, apresentando pouca confiabilidade nesta simulação.

Como ocorreu com dados de entrada em intervalos de 30 minutos, a simulação para quinze dias apresentou desempenho Péssimo nas três profundidades.

Na simulação com dados de entrada diários o melhor desempenho foi para a profundidade de 0,25 m com dados de cinco e vinte e cinco dias (Muito Bom), e para 0,70 m com dados de dez dias (Ótimo), mostrando confiabilidade na modelagem com os dados nestas profundidades e nestes intervalos de dias.

BIUDES (2006) utilizou a mesma metodologia de avaliação do desempenho num estudo sobre estimativa de transpiração em plantas de mangabeira pelo modelo Penman-Monteith e obteve desempenho Bom, Mediano, Mau e Péssimo para as situações consideradas no estudo.

Neste trabalho, verificando o desempenho dos valores de conteúdo de água no solo modelados pelo ENWATBAL em diferentes situações, também apresentou desempenho Ótimo, Muito Bom, Bom e Mediano em algumas situações, e em outras se apresentou Sofrível, Mau e Péssimo, como descrito acima.

Quando observado os valores de "r", "c" e "d", a simulação como dados diários que apresenta os melhores resultados, entre 0,80 e 1, é a de cinco dias na profundidade de 0,25 m (Figuras 13 e 14) e a de dez dias na profundidade de 0,70 m (Figuras 15 e 16).

Para as diferenças encontradas entre valores medidos no campo e os valores modelados pelo programa ENWATBAL não foi possível estabelecer as causas.

CAMPELO JÚNIOR et al. (2002), afirmam que mesmo considerando as simplificações adotadas para aplicação do modelo, não puderam estabelecer as causas das diferenças encontradas entre valores medidos e valores calculados nas condições avaliadas no estudo realizado com pastagem em área de cerrado. O mesmo foi confirmado por KLEIN et al. (2004).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O modelo ENWATBAL apresentou desempenho satisfatório para a profundidade de 0,25 m em intervalos de cinco dias (Muito Bom) para dados de trinta minutos e diários e em intervalos de dez dias (Bom) para dados de trinta minutos e em de vinte e cinco dias (Muito Bom) para dados diários. E para a profundidade 0,70 m em intervalos de dez dias (Ótimo) com dados de trinta minutos e diários e intervalo de vinte e cinco dias (Ótimo) para dados de trinta minutos.

Para a profundidade 0,05 m, o modelo não teve desempenho satisfatório (entre Péssimo e Sofrível) em todos os períodos considerados, tanto para dados de trinta minutos como para diários.

A simulação com o modelo ENWATBAL para intervalos de quinze dias, em todas as profundidades do solo consideradas e dados de trinta minutos e diários, apresentou desempenho não satisfatório (Péssimo).

A modelagem do conteúdo de água no solo que apresentou os melhores resultados, considerando os indicadores estatísticos de precisão (r), de exatidão (d) e de desempenho (c), foi a de cinco dias na profundidade de 0,25 m e a de dez dias na profundidade de 0,70 m, tanto para dados de trinta minutos quanto para dados diários.

Os resultados não satisfatórios podem ter ocorrido por algum processo que tenham influenciado os valores modelados. Pode ser que haja interferência do índice de área foliar, já que é utilizado em vários cálculos na modelagem como apresentado na descrição do modelo (item 3.4), ou outra variável que possa interferir nos valores modelados, como a precipitação que influenciou nos valores modelados do conteúdo de água.

3.5 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Na simulação as relações não satisfatórias se devem a processos que influenciam a modelagem. Logo, se faz necessário realizar pesquisas com enfoque na dinâmica do balanço hídrico na área de estudo utilizada neste trabalho, com um período maior de simulação e estudar as variáveis que interferem no resultado dos valores modelados.

Com isso, sugere-se o uso do modelo ENWATBAL para simulações como série de dados mais longa, tanto para estudo do balanço hídrico quanto para balanço de energia em áreas de floresta.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, E. C. B.; AGUIAR, J. V.; COSTA, R. N. T. Calibração de um modelo de umidade para um solo aluvial sem cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 5, p. 444-449, 2001.

BIUDES, M. S. **Estimativa da transpiração em plantas de mangabeira**. Cuiabá, 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Física e Meio Ambiente) – Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2006.

BIUDES, M. S. **Balanço de energia em área de vegetação monodominante de cambará e pastagem no norte do Pantanal**. Cuiabá, 2008. 142 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2008.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação de desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.5, n.1, p. 89-97, Jul. 1997.

CAMPELO JÚNIOR, J. H.; MEDEIROS, R. A.; BRAWERS, L. R. Simulação do balanço hídrico do solo com pastagem, em condições de cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, XXIV. 2002. Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: SBCS, 2002. 249 p. p. 151.

CAMPELO JÚNIOR, J. H. et al. Simulação do teor de água no solo utilizando uma linguagem voltada a objetos. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, VI. 2003. Fortaleza. **Anais**. 2003. p. 596-597.

CAMPOS, A. V. et al. Uso Potencial da Terra. Capacidade Natural Média do Uso da Terra. In: **Projeto RADAMBRASIL**, Folha SC 21 Juruena. Rio de Janeiro, 1980. p. 382-383.

CINTRA, F. L. D.; LIBARDI, P. L.; SAAD, A. M. Balanço hídrico no solo para porta-enxertos de citros em ecossistema de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.4, n.1, p.23-28, 2000.

CHICOTA, R. **Avaliação no campo de um TDR segmentado para determinação da umidade do solo**. 2003. 121 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. 2. rem. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.

DURAN, J. A. R.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Desempenho do ENWATBAL para avaliar a umidade do solo e o uso da água em um sistema agroflorestal. **R. Árvore.** Viçosa, v.32, n.5, p.879-889, 2008.

EVETT, S. R.; HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A. D. **Energy and water balance for surface and subsurface drip irrigated corn**. In: Fifth International Microirrigation Congress. 1995. Orlando, FL, U.S.A., p 135-140.

EVETT, S. R.; HOWELL, T. A.; STEINER, J. L.; SCHNEIDER, A. D.; COPELAND, K. S.; DUSEK, D. A. Energy and water balance modeling of winter wheat. n. 94-2022. **Amer. Soc. Agric. Engr**., St. Joseph, MI, 1994.

EVETT, S. R.; LASCANO, R. J. ENWATBAL.BAS: A mechanistic evapotranspiration model written in compiled basic. **Agronomy Journal**. Madison, v. 85, n. 3, p. 763-772, 1993.

FRAZER, G. W.; TROFYMOW, J. A.; LERTZMAN, K. P. **A method for estimating canopy openness, effective leaf area index, and photosynthetically active photon flux density using hemispherical photography and computerized image analysis techniques**. Information Report BC-X-373. Pacific Forestry Centre, Victoria, B.C., 1997. 81 p. Cat. No. Fo46-17/373E.

FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. **Gap Light Analyzer (GLA)**: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs. Users manual and program documentation, Version 2.0. Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, Canada/ Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York. U.S.A., 1999.

GALLON, M. M. P.; ALMEIDA, E. D. de; SANTOS, F. M.; BALDISSERA, G. C.; COELHO, M. M.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Simulação do balanço de energia na cultura do algodão. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. 56. 2004. Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: SBPC, 2004.

GONÇALVES, J. L. de M.; STAPE, J. L. (ed.). **Conservação e cultivo de solos para plantações florestais**. 1. ed. Piracicaba: IPEF, 2002. 498 p.

HOOGENBOOM, G. Contribuition of agrometeorology to the simulation of crop production and its application. **Agricultural and Forest Meteorology. Amesterdam**, v. 103, n. 1-2, p. 137-157, 2000.

KLEIN, M. E.; AGUIAR, R. G. CUNHA, L. F. J. da; PEREIRA, M. J.; SPOLADOR, J.; CAMPELO JÚNIOR, J. H. Simulação do conteúdo de água no solo em uma cultura de algodão. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE

BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA. 56. 2004. Cuiabá. **Anais**. Cuiabá: SBPC, 2004.

KRIEG, D. R.; LASCANO, R. J. Sorghum. p. 719-740.1990. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (ed.). Irrigation of agricultural crops. Amer. Soc. Agron., Madison, WI. In: EVETT, S. R.; LASCANO, R. J. ENWATBAL.BAS: A mechanistic evapo-transpiration model written in compiled basic. **Agronomy Journal**. Madison, v. 85, n. 3, p. 763-772, 1993.

LASCANO, R. J. Review of models for predicting soil water balance. p. 443-458. 1991. In: Soil water balance in the sudano-sahelian zone. Proc. Of the Niamey Workshop, feb. 1991. IAHS Public. n. 199. In: EVETT, S. R.; LASCANO, R. J. ENWATBAL.BAS: A mechanistic evapo-transpiration model written in compiled basic. **Agronomy Journal**. Madison, v. 85, n. 3, p. 763-772, 1993.

LASCANO, R. J.; VAN BAVEL, C. H. M.; HATFIELD, J. L.; UPCHURCH, D. R. Energy and water balance of a sparse crop: simulation and measured soil and crop evaporation. **Soil Science Society American Journal**. Madiso, v. 51, p. 1113-1121, 1987.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: P. L. Libardi, 2000. 517 p.

LOYOLA, J. M. T.; PREVEDELLO, C. L. Modelos analíticos para predição do processo da redistribuição da água no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n.5, p. 783-787, Out. 2003.

MARCELINO, T. H. **Estudos da profundidade do nível do lençol freático em uma mata de transição entre a floresta amazônica e o cerrado no município de Sinop - MT**. 2003. 130 f. Monografia (Graduação em Geologia) - Faculdade de Geologia, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2003.

MARCELINO, T. H.; SHIRAIWA, S.; BORGES, W. R.; PRIANTE FILHO, N.; RAITER F. GPR para a verificação do nível d'água subterrânea em transição Floresta Amazônica e Cerrado. **Acta Amazonica**. v.35, n.3, p. 367-374, 2005.

MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of environmental physics**. London: Edward Arnold, 1990. 291p.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. 440 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PRIANTE FILHO, N.; VOURLITIS, G. L.; HAYASHI, M. M. S.; NOGUEIRA, J. S.; CAMPELO JÚNIOR, J. H.; NUNES, P. C.; SOUZA, L. S.; COUTO, E. G.; HOEGER, W.; RAITER, F.; TRIENWEILER, J. L.; MIRANDA, E. J.; PRIANTE, P. C.; FRITZEN, C. L.; LACERDA, M.; PEREIRA, L. C.; BIUDES, M. S.; SULI, G. S.; SHIRAIWA, S.; PAULO, S. R.; SILEIRA, M. Comparison of the mass and energy exchange of a pasture and a mature transitional tropical forest of the southern Amazon Basin during a seasonal transition. **Global Change Biology**. v. 10, p. 863-876, 2004.

QIU, G. Y. et al. Comparison of the three-temperature model and conventional models for estimating transpiration. **JARQ**. v. 36, n. 2, p. 73-78, 2002.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera**: conceitos, processos e aplicações. 1. ed. Barueri, SP: Manole, 2004. 478 p.

REZENDE, R. et al. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.2, n.3, p. 257-261, 1998.

RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 470 p.

RITCHIE, J. T.; JOHNSON, B. S. Soil and plant factors affecting evaporation. p. 363-390, 1990. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. (ed.). Irrigation of agricultural crops. Amer. Soc. Agron., Madison, WI. In: EVETT, S. R.; LASCANO, R. J. ENWATBAL.BAS: A mechanistic evapo-transpiration model written in compiled basic. **Agronomy Journal**. Madison, v. 85, n. 3, p. 763-772, 1993.

SANTOS, L. F. C. dos; SHIRAIWA, S. Monitoramento do Nível do Lençol Freático em Área de Pasto, Floresta Nativa e Área de Manejo Florestal - Sinop, MT. **Anais de Trabalhos Completos**, 2004. Obtida via base de dados de Anais da III Conferência Científica do LBA - Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia. CD-ROM. Jul. 2004.

SILVA, E. B. da; LIBARDI, P. L. Propriedades hidráulicas de um solo não saturado utilizando-se o permeâmetro a disco. **Scientia Agricola**, v.57, n.3, p.525-529, jul./set. 2000.

SILVA, L. B. P. da. **Disponibilidade de água para as plantas e evapotranspiração em um cerrado denso, um cerrado *strictu sensu* e uma pastagem plantada**. 2003. 51 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. Distribuição do sistema radicular da videira em vertissolo sob irrigação localizada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.2, n.2, p.142-147, 1998.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.6, n.1, p.63-68, 2002.

VAN BAVEL, C. H. M.; LASCANO, R. J. **ENWATBAL** – A numerical method to compute the water loss from a crop by transpiration and evaporation. Soil and Crop Science Department/Texas Agricultural Experiment Station/Texas A&M University, nov. 1987.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. 3. reimp. Viçosa: UFV, 2004. 449 p.

VOURLITIS, G. L. et al. Seasonal variations in the evapotranspiration of a transitional tropical forest of Mato Grosso, Brazil. **Water Resources Research**, 38, 6, 2002.