

WELLIAM CHAVES MONTEIRO DA SILVA

**MODELAGEM DOS BALANÇOS DE RADIAÇÃO E DE ÁGUA E SIMULAÇÃO  
DO CRESCIMENTO DO EUCALIPTO NA BACIA DO RIO DOCE -MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL

2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

S586m  
2007

Silva, Welliam Chaves Monteiro da, 1973-  
Modelagem dos balanços de radiação e de água e  
simulação do crescimento do eucalipto na Bacia do Rio  
Doce-MG / Welliam Chaves Monteiro da Silva. – Viçosa,  
MG , 2007.  
xvi, 104f. : il. (algumas col.); 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Aristides Ribeiro.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 91-97.

1. Meteorologia agrícola - Doce, Rio, Bacia (MG e ES).  
2. Eucalipto - Doce, Rio, Bacia (MG e ES). 3. Eucalipto -  
Crescimento - Modelos matemáticos. 4. Eucalipto - Efeito  
da radiação solar. 5. Eucalipto - Condições Hídricas.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 630.2515

WELLIAM CHAVES MONTEIRO DA SILVA

**MODELAGEM DOS BALANÇOS DE RADIAÇÃO E DE ÁGUA E SIMULAÇÃO  
DO CRESCIMENTO DO EUCALIPTO NA BACIA DO RIO DOCE -MG**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 04 de maio de 2007.

---

Prof. Júlio César Lima Neves  
(Co-Orientador)

---

Prof. José Eduardo Macedo Pezzopane

---

Prof. Nairam Félix de Barros

---

Pesq. Fernando Palha Leite

---

Prof. Aristides Ribeiro  
(Orientador)

## **DEDICATÓRIA**

À minha esposa, Adriane, por todo o apoio, compreensão, amor e carinho.

Em especial ao meu querido filho, Arthur, maior felicidade que um homem pode ter na vida.

Aos meus pais João Monteiro e Edleusa sempre presentes em todas as etapas da minha vida.

Aos meus irmãos Rosenildo, Wellyngton, Juth D'arck e Joana Dark pela amizade e incentivo.

## AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), especialmente ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

À Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA S.A.), pela concessão dos dados e por disponibilizar sua área experimental, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao professor Aristides Ribeiro, pela orientação, compreensão, incentivo, paciência e pela dedicação para realização deste trabalho.

A Brauliro Leal pelo grande auxílio na parte computacional ajudando a colocar em prática o trabalho proposto.

Aos professores Júlio César Lima Neves e Mauro Aparecido Martinez pelos valiosos ensinamentos.

A Alexandro, Christiane, Jonathas, José Danilo, José de Paulo, José Luiz, Kelly, Marcelo, Paulo Jorge, Ranieri, Raquel, Rogério, Rosa, Silvia, Wesley, pela amizade e grande colaboração, imprescindível para a execução deste trabalho.

À Adriane, pelo amor, estímulo, paciência, dedicação e apoio que tanto contribuíram para a realização do Doutorado.

A todos que, diretamente ou indiretamente, contribuíram para a realização e concretização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

WELLIAM CHAVES MONTEIRO DA SILVA filho de João Monteiro da Silva e Edleusa Chaves Monteiro da Silva, natural de São Miguel dos Campos, Alagoas, nasceu no dia 12 de janeiro de 1973.

Em janeiro de 2000, graduou-se em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas.

Em fevereiro de 2002, obteve o título de Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

Em setembro de 2002, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado em Meteorologia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, submetendo-se à defesa de tese em maio de 2007.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Modelos de Crescimento Florestal.....	4
2.1.1. O modelo 3-PG.....	4
2.1.1.1. Modificador Por Déficit Hídrico ( $f_{\theta}$ ).....	6
2.1.1.2. Modificador por Déficit de Pressão de Vapor ( $f_d$ ).....	6
2.1.1.3. Modificador de Temperatura ( $f_t$ ).....	7
2.1.1.4. Modificador em Função da Idade ( $f_{idade}$ ).....	7
2.1.1.5. Produção de Matéria Seca (Eficiência de Conversão da Radiação).....	8
2.1.1.6. Queda de Serapilheira.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
2.1.1.7. Taxa de Renovação das Raízes.....	9
2.1.1.8. População de Árvores.....	9
2.1.1.9. Alocação de Carbono.....	10
2.2. Balanço Hídrico.....	11
2.2.1. Precipitação.....	12
2.2.2. Transpiração.....	13
2.2.3. Radiação Solar.....	16
2.2.4. Déficit de Pressão de Vapor.....	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.1. Área Experimental.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
3.2. O Modelo 3-PG.....	22
3.3. Dados Utilizados e Período de Estudo.....	26
3.4. Determinação do Incremento Médio Anual.....	26
3.5. Estimativa da Transpiração.....	27
3.6. Balanço Hídrico.....	27
3.7. Simulações Realizadas.....	37
4.0. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	37
4.1 Caracterização Edafoclimática das Regiões do Estudo.....	39
4.2 Efeito da Exposição na Irradiância Solar Global Estimada.....	44
5. CONCLUSÕES.....	89
6.0. REFERÊNCIAS.....	91
APÊNDICE.....	91
APÊNDICE A.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1_Diagrama representando o submodelo de população de árvores, em que $W_S$ é a massa média de caule, $p$ é a população de caule e $K_S$ é um coeficiente que é calculado usando o modelo 3-PG. Adaptado de Landsberg e Waring (1997). ....	9
Figura 2_Localização das áreas em estudo (Regional, Região e Projeto).....	21
Figura 3_Representação gráfica do Modelo 3-PG. ....	23
Figura 4_Médias mensais de temperatura mínima ( $T_n$ ), média ( $T_m$ ) e máxima ( $T_x$ ) do ar e amplitude térmica ( $AT$ ) das regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara. ....	39
Figura 5_Totais mensais de chuva e média mensal da irradiância solar global das regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.....	42
Figura 6_Média mensal de DPV (déficit de pressão de vapor), estimada pelo modelo proposto, das regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.....	44
Figura 7_Irradiância solar global obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto (RGPROPOSTO), com a face de exposição voltada para o sul nas regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara. ....	47
Figura 8_Irradiância solar global obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto (RGPROPOSTO), com a face de exposição voltada para leste-oeste nas regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.....	47
Figura 9_Irradiância solar global obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto (RGPROPOSTO), com a face de exposição voltada para o norte nas regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara. ....	48
Figura 10_Irradiância solar global média mensal obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto com a face de exposição voltada para o sul (RGSUL), para leste-oeste (RGPLAN) e para o norte (RNOR) em Cocais (São José) e Rio Doce (Bião).....	51
Figura 11_Incremento médio anual (IMA) observado e estimado pelos modelos original e proposto para as regiões de Cocais e Rio Doce com as faces de exposição, voltada para o sul, leste-oeste (plano) e para o norte.....	53
Figura 12_Incremento médio anual (IMA) estimado pelo modelo original para as regiões de Cocais e Rio Doce com variação da respiração. ....	53
Figura 13_Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Cocais.....	58
Figura 14_Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Virginópolis. ....	59



Figura 15_ Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Rio Doce. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 16_ Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Santa Bárbara. ....	61
Figura 17_ Relação entre a evapotranspiração anual, estimada pelos modelos original e proposto e de chuva ocorrida nas regiões de Cocais (CO), Santa Bárbara (SB), Rio Doce (RD) e Virginópolis (VI). ....	64
Figura 18_ Valores mensais do armazenamento de água no solo, para os modelos proposto (ARMPROPOSTO) e original (ARMORIG), e da capacidade de água disponível (CAD) para o modelo proposto, nas quatro regiões estudadas e com a face de exposição sul. ....	66
Figura 19_ Valores mensais do armazenamento de água no solo, para os modelos proposto (ARMPROPOSTO) e original (ARMORIG), e da capacidade de água disponível (CAD) para o modelo proposto, nas quatro regiões estudadas e com a face de exposição leste-oeste. ....	67
Figura 20_ Valores mensais do armazenamento de água no solo, para os modelos proposto (ARMPROPOSTO) e original (ARMORIG), e da capacidade de água disponível (CAD) para o modelo proposto, nas quatro regiões estudadas e com a face de exposição norte. ....	68
Figura 21_ Variação mensal da profundidade do sistema radicular (PSR) do eucalipto em diferentes idades da planta. ....	69
Figura 22_ Comportamento do déficit de pressão de vapor (DPV) calculado pelos modelos original (DPVORIG) e proposto (DPVPROPOSTO) para as regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara. ....	71
Figura 23_ Modificadores de água no solo (fSW) e de déficit de pressão de vapor (fVPD) calculados pelos modelos original (fSWORIG e fDPVORIG) e proposto (fSWPROPOSTO e fDPVPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o sul. ..	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 24_ Modificadores de água no solo (fSW) e de déficit de pressão de vapor (fVPD) calculados pelos modelos original (fSWORIG e fDPVORIG) e proposto (fSWPROPOSTO e fDPVPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para leste-oeste. ....	74
Figura 25_ Modificadores de água no solo (fSW) e de déficit de pressão de vapor (fVPD) calculados pelos modelos original (fSWORIG e fDPVORIG) e proposto (fSWPROPOSTO e fDPVPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o norte. ....	75
Figura 26_ Modificador fisiológico (PhysMod) calculado pelos modelos original (PhysModORIG) e proposto (PhysModPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o sul. ....	77
Figura 27_ Modificador fisiológico (PhysMod) calculado pelos modelos original (PhysModORIG) e proposto (PhysModPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para leste-oeste. ....	78

Figura 28	Modificador fisiológico (PhysMod) calculado pelos modelos original (PhysModORIG) e proposto (PhysModPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o norte. ....	79
Figura 29	Eficiência de uso da água (EUA) calculada pelos modelos original (EUAORIG) e proposto (EUAPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o sul. ....	81
Figura 30	Eficiência de uso da água (EUA) calculada pelos modelos original (EUAORIG) e proposto (EUAPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para leste-oeste. ....	82
Figura 31	Eficiência de uso da água (EUA) calculada pelos modelos original (EUAORIG) e proposto (EUAPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o norte. ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 32	Incrementos médios anuais simulados e observados (IMA2004 e IMA2005) na face de exposição sul para regiões de Cocais (CO), Virginópolis (VI), Rio Doce (RD) e Santa Bárbara (SB). ....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Figura 33	Incrementos médios anuais simulados e observados (IMA2004 e IMA2005) na face de exposição leste – oeste (plano) para regiões de Cocais (CO), Virginópolis (VI), Rio Doce (RD) e Santa Bárbara (SB). ....	87
Figura 34	Incrementos médios anuais simulados e observados (IMA2004 e IMA2005) para face de exposição norte para regiões de Cocais (CO), Virginópolis (VI), Rio Doce (RD) e Santa Bárbara (SB). ....	88

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1_ Valores de $C_0$ e $n_0$ .....	6
Quadro 2_ Localização das estações meteorológicas.....	21
Quadro 3_ Siglas da representação gráfica do Modelo 3-PG.....	23
Quadro 4_ Valores dos coeficientes $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ de cada localidade estudada .....	26
Quadro 5_ Características das áreas inventariadas com face de exposição, inclinação da rampa, azimute e Incremento Médio Anual (IMA) observado .....	51
Quadro 6_ Principais parâmetros do Modelo 3-PG com as parametrizações realizadas por Silva (2006), Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004) e Almeida et al. (2004).....	55
Quadro 7_ Desvio padrão (DESVPA), média e coeficiente de variação (CV) para o IMA observado, e estimado pelos modelos original e proposto para as regiões estudadas.....	88
Quadro 1.A_ Dados climáticos da região de Cocais .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Quadro 2.A_ Dados climáticos da região de Rio Doce.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Quadro 3.A_ Dados climáticos da região de Santa Bárbara..	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Quadro 4.A_ Dados climáticos da região de Virgíópolis....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Quadro 5.A_ Informações sobre as regiões estudadas: Cocais, Rio Doce, Santa Bárbara e Virgíópolis.....	<b>Erro! Indicador não definido.</b>
Quadro 6.A_ Informações sobre o solo das regiões estudadas.	<b>Erro! Indicador não definido.</b>

## LISTA DE SÍMBOLOS

A, B e C = parâmetros de simplificação da equação.

$ARM_i$  = armazenamento de água no dia i (mm).

$ARM_{i-1}$  = armazenamento de água no dia anterior (mm).

$A_z$  = azimute ou orientação da superfície (rad).

$\theta$  = ângulo de incidência dos raios solares diretos (graus).

b = equação de ajuste.

$b_0, b_1, b_2$  = coeficientes determinados por análise de regressão.

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = coeficientes obtidos para cada localidade estudada com dados de campo.

CAD = capacidade de água disponível no solo em mm/cm.

CCamp = capacidade de campo, % em peso.

$C_p$  = calor específico a pressão constante,  $1.013 \cdot 10^{-3} \text{ MJ Kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$\alpha$  = coeficiente de reflexão (albedo).

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de saturação de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$d_a$  = densidade aparente do solo,  $\text{gcm}^3$ .

DAP = diâmetro a altura do peito (cm).

$D_n$  = Irradiação solar direta normal à superfície (direta corrigida).

DPV = Déficit de pressão de vapor (kPa).

$d_r$  = distância relativa terra – sol (rad).

DTA = disponibilidade total de água, em mm/cm de solo.

$d_v$  = deslocamento do plano zero do perfil do vento (m).

$\delta$  = declinação solar.

$\rho_a$  = densidade absoluta do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

E = transpiração do dossel ( $\text{mm h}^{-1}$ ).

$e_s - e_a$  = déficit de pressão de vapor (kPa).

$\varepsilon$  = relação peso molecular de vapor de água/ar seco = 0.622.

$\xi$  = erro aleatório.

$e_a$  = pressão atual de vapor (kPa).

$e_s$  = pressão de vapor de saturação (kPa).  
 $\lambda$  = fluxo de calor latente de evaporação ( $\text{kJ m}^2 \text{s}^{-1}$ ).  
 $G$  = fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ).  
 $G_{SC}$  = Constante Solar =  $0.0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{min}^{-1}$ .  
 $H_c$  = altura da cultura (m).  
 $H_d$  = média em função da altura da árvore dominante para cada parcela.  
 $HT$  = altura da árvore que não foi mensurada (m).  
 $i$  = inclinação da superfície (graus).  
 $IAF$  = índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{m}^{-2}$ ).  
 $ICV$  = Interceptação da cobertura vegetal (mm).  
 $I_d$  = irradiância solar difusa sobre uma superfície plana ( $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ).  
 $IMA$  = Incremento médio anual ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ).  
 $J$  = número do dia do ano.  
 $k$  = constante de von kármán (0,41).  
 $K_s$  = coeficiente de umidade do solo (adimensional).  
 $L_m$  = Longitude local em graus (graus).  
 $L_n$  = logaritmo neperiano.  
 $L_Z$  = longitude do fuso local (graus).  
 $\phi$  = latitude (rad).  
 $M'$  = fator de conversão horário = 3600.  
 $M$  = razão entre  $i_d$  e  $R_g$  (adimensional).  
 $M_T$  = razão entre  $R_g$  e  $R_0$  (adimensional).  
 $P$  = pressão atmosférica [kPa],  
 $P_{mPer}$  = ponto de murchamento, % em peso.  
 $P_{Perc}$  = percolação profunda na camada útil do solo onde se encontram as raízes (mm).  
 $PSR$  = profundidade efetiva do sistema radicular, em cm.  
 $P_{th}$  = precipitação pluvial total no dia  $i$  (mm).  
 $R$  = constante específica do gás =  $287 \text{ (J kg}^{-1} \text{K}^{-1})$ .  
 $r_a$  = resistência aerodinâmica ( $\text{s m}^{-1}$ ).  
 $r_d$  = resistência do dossel da planta ( $\text{s m}^{-1}$ ).  
 $r_e$  = resistência estomática ( $\text{s m}^{-2}$ ).  
 $R_g$  = irradiância solar global ( $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ).  
 $R_{gi}$  = Irradiância solar global incidente corrigida (difusa e direta) em  $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ .  
 $RH_{mean}$  = umidade relativa média.

$R_n$  = saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).

$R_{nl}$  = saldo de radiação de ondas longas em ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ).

$R_{nlW}$  = correção do saldo de radiação de ondas longas ( $\text{W m}^{-2}$ ).

$R_{ns}$  = Saldo de radiação de ondas curtas ( $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ).

$RSW$  = Irradiância solar global incidente ( $\text{W m}^{-2}$ ).

$Sc$  = correção para o tempo solar (hora).

$T$  = temperatura média do ar.

$T_1$  = tempo de relógio padrão ao ponto central do período [hora].

$t_1$  = duração do período de cálculo.

$T_h$  = evapotranspiração no dia  $i$  (mm).

$T_K$  = temperatura absoluta (K).

$T_{Kv}$  = temperatura virtual (K).

$U_z$  = velocidade do vento a uma altura  $Z$  ( $\text{m s}^{-1}$ ).

$V$  = volume de madeira ( $\text{m}^3$ ).

$Varv$  = volume de árvore ( $\text{m}^3$ ).

$\omega_1$  = ângulo do tempo solar para o começo do período (rad), ângulo horário.

$\omega_2$  = ângulo do tempo solar para o fim do período (rad), ângulo horário.

$\omega$  = ângulo do tempo solar para o ponto central do período (rad), ângulo horário.

$Z$  = ângulo zenital.

$Z'$  = altitude.

$Z_h$  = altura de medição da umidade do ar (25m).

$Z_{0h}$  = parâmetro de rugosidade para calor sensível e vapor d'água (m).

$Z_m$  = altura de medição da velocidade do vento.

$Z_{0m}$  = parâmetro de rugosidade para momentum (m).

$\sum Varv$  = somatório do volume de cada árvore.

## RESUMO

SILVA, Welliam Chaves Monteiro, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2007.  
**Modelagem dos balanços de radiação e de água e simulação do crescimento do eucalipto na Bacia do Rio Doce – MG.** Orientador: Aristides Ribeiro. Co-Orientadores: Júlio César Lima Neves e Mauro Aparecido Martinez.

A modelagem de crescimento de plantas permite agrupar, de forma organizada e estruturada, os processos e interações que determinam a produtividade das culturas. Apesar do modelo 3-PG (*Physiological Principles for Predicting Growth*) ser um dos modelos mais utilizados nos últimos anos para cálculos de produtividade florestal, existem nele processos que não apresentam tratamento físico adequado. Este estudo teve como objetivo gerar um novo tratamento para o balanço hídrico nas simulações do crescimento de plantios florestais. Especificamente, visou à melhora no tratamento do balanço de energia, levando-se em consideração a variação da energia solar de acordo com a face de exposição e da inclinação do terreno, e também teve como objetivo melhorar o tratamento da evapotranspiração, no que se refere ao controle estomático decorrente da variação na temperatura do ar, do déficit de pressão de vapor (DPV) e da irradiância solar global. A capacidade de armazenamento de água no solo utilizada pelo modelo variou com a profundidade do sistema radicular e disponibilidade total de água no solo (DTA). Outra alteração importante foi a mudança de base mensal para horária. Este estudo foi realizado para um ciclo de crescimento de eucalipto plantado em áreas pertencentes à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), usando dados meteorológicos coletados em quatro regiões da bacia hidrográfica do rio Doce, localizada no Estado de Minas Gerais. Foi observado que as rampas com a face voltada para o sul apresentam níveis de radiação em geral mais baixos do que os dados obtidos nas estações meteorológicas, em virtude da correção da radiação, uma vez que o sol se posiciona mais ao norte. O contrário ocorre quando a face de exposição está voltada para o norte, ou seja, maior quantidade de radiação. Notou-se também haver uma coerência no potencial produtivo nas diferentes faces de exposição, tanto para os valores observados como para aqueles obtidos pelo modelo proposto, em que as superfícies voltadas para o norte foram mais produtivas do

que a superfície plana e a voltada para o sul. Nas correlações do Incremento Médio Anual (IMA) entre os dados modelados e observados nas quatro regiões estudadas: Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara, o modelo proposto apresenta coeficientes de determinação e angular com melhor ajuste que o modelo original, indicando que as alterações propostas devem ser consideradas na modelagem do crescimento. A melhora no tratamento das forçantes de crescimento de plantios de eucalipto, como déficit de pressão de vapor de água atmosférico, balanço de água no solo e irradiância solar, deve ser buscada, uma vez que se verificou, na bacia do Rio Doce, uma tendência de localidades com menor DPV e maiores disponibilidades de água no solo e de radiação solar serem as mais produtivas.



## ABSTRACT

SILVA, Welliam Chaves Monteiro, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, May 2007.  
**Water and radiation balance modeling and simulation of the eucalyptus growth on Rio Doce Watershed – MG.** Advisers: Aristides Ribeiro. Co-Advisers: Júlio César Lima Neves and Mauro Aparecido Martinez.

The plant growth modeling allows gathering, in an organized and structured form, the process and interactions which set the cultures yield. Even though the model 3-PG (*Physiological Principles for Predicting Growth*) is one of the most used models during the last years to calculate the forests yield, there are some processes that do not show proper physical treatment. This study had the scope to generate a new treatment for the hydric balance on the planted forest growth simulation. Specifically, objected the improvement on the energy balance treatment, considering the solar radiation range according to the exposed side and the terrain slope, and also has the aim to enhance the evapotranspiration treatment, referring to the stomata control due to the air temperature variation, vapor pressure deficit (VPD) and the global solar radiation. The water retention capacity on the soil used by the method varied with the root system depth and the total available water on the soil (TAW). Other important alteration was the change from a monthly to daily base. This study was carried out for a growth cycle of eucalyptus planted in areas belonged to the enterprise Celulose Nipo-Brasileira (CENIBRA), using meteorological data collected in four regions on the Rio Doce watershed, located in Minas Gerais State. It was observed that the mount part pointing to the south have shown radiation levels lower than those data taken from the meteorological stations, because of the radiation correction, once the sun is more positioned to the north. The contrary occurs with the mount parts pointing to the north, e. g., which receive bigger radiation amounts. It was noticed also a coherency on the productive potential on the different parts of exposure, both to the observed values and to the obtained by the proposed model, in which surfaces pointing to the north were more productive that the flat and south pointing surfaces. On the Mean Annual Increment (MAI) correlations between the modeled and observed data for the four studied areas: Cocais, Virginópolis, Rio Doce and Santa Bárbara, the proposed

model presents determination and angular coefficients better adjusted than those from the original model, indicating that the proposed changes must be considered on the growth modeling. The enhancement on the growth improves on eucalyptus planted forests, like atmospheric vapor pressure deficit, water balance on soil and solar radiation, must be taken, once it was verified, on the Rio Doce watershed, a tendency for the most productive areas have lower VPD and bigger water and solar radiation availability.

## 1. INTRODUÇÃO

O eucalipto é uma espécie florestal nativa da Austrália e ilhas circunvizinhas. Em razão de suas características, como crescimento rápido e capacidade de resistir ao estresse hídrico, tem sido introduzido em diversos países.

Segundo a Sociedade Brasileira de Silvicultura – SBS (2006), as florestas plantadas no Brasil, em 2005, totalizaram cerca de 5,6 milhões de hectares, sendo 3,4 milhões de hectares com eucalipto; 1,8 milhão de hectares com pinus e 326 mil hectares de outras espécies. O eucalipto apresenta rápido crescimento, e várias de suas espécies se adaptaram bem à diversas situações edafobioclimáticas brasileiras.

Um dos fatores mais importantes na determinação da produtividade em plantios florestais é a disponibilidade de água no solo para processos fisiológicos, uma vez que fatores adversos, como os nutricionais e os fitossanitários, podem ser contornados pelo uso de um manejo adequado.

As empresas da área florestal têm aumentado seus esforços na investigação da contribuição dos componentes do balanço hídrico para a produtividade do eucalipto.

A modelagem vem-se constituindo em ferramenta de grande importância, pois sintetiza conhecimentos, projetando e predizendo o comportamento da planta diante de condições diversas.

Os modelos baseados em processos predizem a produtividade florestal com base em processos fisiológicos que controlam o crescimento (fotossíntese, alocação de biomassa, respiração, transpiração, nutrição e queda de folhas e galhos). Landsberg e Waring (1997) desenvolveram um modelo de crescimento florestal baseado em processos fisiológicos, intitulado *Physiological Principles for Predicting Growth* (3-PG), considerando as relações fisiológicas variáveis e constantes.

Apesar de o 3-PG ser um dos modelos mais utilizados nos últimos anos para cálculos de produtividade florestal (STAPE, 2004; ALMEIDA et al., 2004; SANDS; LANDSBERG, 2002), existem no 3-PG processos que não apresentam tratamento físico adequado. Dentre esses processos, pode-se destacar o cômputo do balanço hídrico.

Verifica-se, ainda, a necessidade de parametrizar melhor os diversos modelos de crescimento florestal para as condições edafoclimáticas nacionais, o que tornará essa ferramenta ainda mais útil na compreensão global do crescimento de florestas no país. Entende-se que a melhoria das estimativas dos citados processos pode resultar em ganhos significativos na simulação de crescimento de plantios florestais.

Este estudo teve como objetivo gerar um novo tratamento para o cômputo do balanço hídrico nas simulações do crescimento de plantios de eucalipto. Especificamente, visou a uma melhora no tratamento do balanço de energia, levando-se em consideração a variação da energia solar em função da face de exposição e da inclinação do terreno em plantios de eucalipto. Visou também a uma melhora no tratamento da evapotranspiração, no que se refere ao controle estomático decorrente da variação da temperatura do ar, déficit de pressão de vapor e saldo de radiação. Além de efetuar a mudança de base mensal para a horária (“Time Step”).

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A modelagem de crescimento de plantas permite agrupar de forma organizada e estruturada, os processos e interações que determinam a produtividade das culturas. Em outras palavras, os modelos são ferramentas importantes para sintetizar o conhecimento científico, bem como para melhorar a compreensão sobre a ecofisiologia dos vegetais.

Modelo é uma abstração, uma representação física e simplificada de sistemas reais, podendo servir como ferramenta para redução do tempo e do custo da experimentação de campo.

Uma das vantagens da utilização de modelos na resolução de problemas está na capacidade destes em estimar valores do sistema que representam. Devido à complexidade do crescimento e desenvolvimento dos vegetais, os modelos não consideram a totalidade dos processos e variáveis envolvidas no crescimento das culturas, ou seja, eles são apenas uma simplificação da realidade, apesar de muitos apresentarem ótimos resultados.

Os modelos são classificados em três categorias principais: modelos empíricos (funcionais), mecânicos (baseados em processos) e semimecânicos.

Os modelos empíricos são mais utilizados, pois se baseiam simplesmente na avaliação quantitativa dos fatores de produção considerados. Consistem de funções que são escolhidas arbitrariamente para o ajuste de medidas de campo ou laboratório. Normalmente, tais modelos são representados por equações de regressão e, normalmente, precisam de grande número de dados para seu desenvolvimento. Os modelos empíricos não consideram o entendimento científico do sistema. São válidos apenas para as condições específicas em que foram estabelecidos, ou seja, apresentam restrições quanto à extrapolação de seus resultados.

Os modelos mecânicos procuram compreender e descrever os mecanismos do sistema. Eles requerem que os processos simulados tenham uma base física ou fisiológica. São mais complexos e, com isso, tendem a apresentar maior dificuldade de ajuste quando comparados com os modelos empíricos. Não apresentam restrição para extrapolação temporal ou geográfica.

O modelo semimecânico ou semi-empírico só tem sido considerado nos últimos anos, ou seja, a partir de pesquisas pôde ser feito o acoplamento de modelos empíricos e mecânicos, facilitando a realização das simulações. Os modelos semimecânicos exigem menor número de variáveis de entrada e não apresentam restrições à extrapolação de seus resultados, sendo, pois, os mais utilizados na simulação do crescimento florestal.

Em outras palavras, devido à complexidade de alguns processos envolvidos no crescimento e desenvolvimento dos vegetais, tais modelos trazem vantagens quanto à abordagem processual e à simplificação necessária (não menos científicos) para processos ainda não bem conhecidos.

## **2.1. Modelos de Crescimento Florestal**

Os modelos de crescimento e produção florestal podem ter papel importante no ordenamento florestal e na definição de políticas florestais.

Entre os diversos modelos baseados em processos, que foram desenvolvidos nas duas últimas décadas para calcular a produtividade de plantios florestais, podem ser citados: MAESTRO (WANG; JARVIS, 1990ab), CENTURY (PARTON et al., 1993), PnET (ABER; FEDERER, 1992) e 3-PG (LANDSBERG; WARING, 1997).

No modelo MAESTRO, as principais variáveis meteorológicas utilizadas são radiação solar incidente, temperatura e umidade do ar. Ele simula os processos de fotossíntese e transpiração, porém não trata o balanço hídrico.

O modelo CENTURY é usado para simular a dinâmica do carbono e dos nutrientes em diferentes tipos de ecossistemas. É composto por submodelos de balanço de água, de colheita e de produção vegetal, com destaque para um submodelo de matéria orgânica do solo. Ele é bastante utilizado para estimar a produtividade florestal. Porém, no caso desse modelo, ele apenas utiliza como dados climáticos a precipitação e a temperatura do ar, ou seja, não contempla adequadamente o balanço de energia.

O modelo PnET descreve os ciclos interativos do carbono, água, nitrogênio e a dinâmica de ecossistemas florestais. Necessita também de poucas variáveis de entrada. Porém, da mesma forma que o modelo CENTURY, ele não trata adequadamente o módulo referente ao balanço de energia, por exemplo o albedo.

### **2.1.1. O modelo 3-PG**

O modelo de crescimento 3-PG (Physiological Principles in Predicting Growth), que é baseado em processos ecofisiológicos, utiliza princípios fisiológicos para estimar a produtividade florestal em plantios equiâneos e monoespecíficos. Necessita de poucos ajustes para se obter uma estimativa realista do crescimento florestal e, também, pode ser facilmente parametrizado para um tipo definido de floresta plantada (LANDSBERG;

WARING, 1997), sendo assim, um modelo bastante adequado e utilizado atualmente para fins de determinação de desenvolvimento florestal.

A vantagem do 3-PG em relação aos outros modelos citados anteriormente é que ele incorpora os seguintes submodelos:

- a) Assimilação de carboidratos (produção de biomassa).
- b) Distribuição de biomassa entre folhas, caule (lenho) e raízes.
- c) Balanço de água no solo.
- d) Alocação de biomassa entre variáveis de interesse para o crescimento florestal.
- e) Caracterização dendométrica.

Esses submodelos interagem de forma a abranger os processos que venham a interferir no desenvolvimento das plantas (SANDS; LANDSBERG, 2002).

O 3-PG estima a quantidade de energia radiante absorvida pelo dossel, sua conversão em carboidratos e alocação nos diferentes componentes da árvore (folhas, cascas, lenho e raízes). O 3-PG descreve o crescimento, tendo como dados de entrada a energia, a temperatura e o nível de nutrição (fertilidade do solo). O modelo incorpora relações empíricas, obtidas a partir de medições experimentais e processos fisiológicos, utilizados em modelos de balanço de carbono. Essa incorporação facilita o cálculo de processos fisiológicos complexos, diminuindo, conseqüentemente, a quantidade de variáveis de entrada.

As principais variáveis de entrada requeridas pelo modelo 3-PG nas simulações são:

1 - **Variáveis Climáticas.** Médias mensais de temperaturas máxima e mínima do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ), radiação solar global ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), precipitação pluviométrica (mm), déficit de pressão de vapor (mbar) e número de dias de geada por mês.

2 - **Variáveis do Solo.** Fertilidade, textura do solo e disponibilidade de água.

3 - **Variáveis da planta.** População de árvores, biomassa inicial de folha, lenho e raízes e relações alométricas.

O modelo calcula a produção primária bruta a partir da radiação fotossinteticamente ativa absorvida e da eficiência quântica do dossel. A quantidade de radiação utilizada na biossíntese é controlada pelas condições ambientais, através de modificadores cujos valores variam entre 0 e 1. Os modificadores (f) são quatro: sendo: modificador por déficit hídrico ( $f_{\theta}$ ), modificador por déficit de pressão de vapor ( $f_D$ ), modificador de temperatura ( $f_T$ ) e modificador em função da idade ( $f_{\text{IDADE}}$ ).

### 2.1.1.1. Modificador Por Déficit Hídrico ( $f_{\theta}$ )

No modelo 3-PG, o modificador por déficit hídrico ( $f_{\theta}$ ) é obtido pela seguinte equação:

$$f_{\theta} = \frac{1}{1 + [(1 - r_{\theta}) / C_{\theta}]^{n_{\theta}}} \quad \text{Eq. 1}$$

e

$$r_{\theta} = \frac{(LAA + \Delta ARM)}{DTA} \quad \text{Eq. 2}$$

em que:

$r_{\theta}$  = razão de umidade;

LAA = lâmina atual de água no solo;

$\Delta ARM$  = variação do armazenamento de água no solo (item 3.6.);

DTA = disponibilidade total de água no solo (equação 64) e

$C_{\theta}$  e  $n_{\theta}$  = parâmetros relacionados às características do solo.

De acordo com a equação 1, quanto mais próximo à lâmina atual de água no solo estiver da capacidade máxima de água que o solo poderia conter, mais o valor de  $f_{\theta}$  se aproxima de 1 (sem restrição). No entanto, quando o déficit de água aumenta (menor  $r_{\theta}$ ), o valor de  $f_{\theta}$  torna-se menor, sendo essa queda mais acentuada para solos de textura grossa, conforme os parâmetros apresentados no Quadro 1.

Tipo de Solo	$C_{\theta}$	$n_{\theta}$
Arenoso	0,7	9
Areno-siltoso	0,6	7
Argilo-siltoso	0,5	5
Argiloso	0,4	3

### 2.1.1.2. Modificador por Déficit de Pressão de Vapor ( $f_d$ )

O modelo 3-PG prevê um modificador para as trocas de vapor de água e  $CO_2$  entre o sistema solo-planta e a atmosfera baseado na estimativa da condutância superficial ( $g_s$ ).



Entretanto, o cálculo da  $g_s$  é função do déficit de pressão de vapor de água, uma vez que para climas temperados essa variável influencia grandemente as trocas de superfície.

Em estudos recentes, Mielke et al. (1999) e Sacramento Neto (2001) observaram que, em regiões tropicais, existe maior influência da radiação solar e da temperatura do ar, além do déficit de pressão de vapor, na condutância estomática de superfície. Esse modulador apresenta variação entre 0 e 1, em que 1 é a ausência de estresse e 0, o máximo possível de penalização.

### 2.1.1.3. Modificador de Temperatura ( $f_t$ )

O modelo original considera a temperatura somente em termos de ocorrência de congelamento, assumindo que a fotossíntese é paralisada nessas condições. Nas condições subtropicais, tropicais e simulações mensais, este modulador tem menos importância, uma vez que nessas regiões as plantas são mais afetadas pelo déficit de pressão de vapor, radiação solar e umidade do solo.

### 2.1.1.4. Modificador em Função da Idade ( $f_{idade}$ )

A partir de certa idade, a produção primária líquida em plantios florestais diminui, fato bem conhecido, mas ainda não plenamente elucidado. Isso pode estar relacionado à condutividade de água na planta, uma vez que em plantas mais velhas há maior dificuldade na condução de água da raiz para os ramos mais altos (LARCHER, 2000). Isto pode não ocorrer em condições brasileiras, já que o ciclo de florestas plantadas de eucaliptos varia em um período curto, de seis a nove anos.

No modelo 3-PG é usado uma expressão empírica, em termos de idade relativa padrão, para explicitar a redução da condutância estomatal máxima com a idade-padrão. O modulador em função da idade ( $f_{IDADE}$ ) é dado por uma equação que simula as mudanças de produção de biomassa de madeira pela parte aérea:

$$f_{IDADE} = \frac{1}{1 + (F_a / 0.95)^{n_{idade}}} \quad \text{Eq. 3}$$

$F_a$  é a idade relativa, ou seja, é a relação da idade atual (em anos) até a idade máxima provável a ser atingida pela floresta ou plantação.

A constante 0,95 faz que  $f_{IDADE}$  seja igual a 0,5 quando  $F_a$  é igual a 0,95. O potencializador  $n_{idade}$  é um valor arbitrário para dar a conformação adequada à relação que

se deseja representar, controlando a variação de  $f_{IDADE}$ . De acordo com Landsberg e Waring (1997),  $n_{idade} = 4$ .

Independentemente das condições de crescimento, a equação citada anteriormente resulta em padrões de produção de biomassa, que diminui em taxas comparáveis às que são relatadas em produções de biomassa da parte aérea.

#### 2.1.1.5. Produção de Matéria Seca (Eficiência de Conversão da Radiação)

A produção primária bruta ( $P_G$ , toda a produção fotossintética efetuada pelas plantas) é calculada multiplicando-se RFAAU (radiação fotossinteticamente ativa absorvida utilizável, estimada pela radiação solar global) pelo coeficiente da eficiência quântica do dossel ( $\alpha_C$ ). O 3-PG está utilizando valores de  $\alpha_C$  entre 0,03 e 0,07 mol de carbono/mol de fóton, modulados por um fator relativo à qualidade do solo em termos nutricionais. A alocação de carbono é calculada mensalmente, sendo o IAF no primeiro mês da simulação obtido da massa de folha ao término do mês.

A produção primária líquida em toda a planta ( $P_N$ , aquisição de matéria seca durante o período de crescimento) é remanescente da  $P_G$  após ser descontada a respiração, cujas taxas, variam conforme fatores ambientais. Entretanto, tais fatores afetam, com intensidade semelhante, a  $P_G$  e, assim, uma relação aproximadamente constante ( $P_N/P_G=0,45\pm 0,05$ ) tem sido encontrada a partir de medições realizadas em diversos tipos de florestas em várias regiões do globo, a qual é usada pelo 3-PG na obtenção da  $P_N$ .

#### 2.1.1.6. Queda de Serapilheira

O modelo considera como uma constante mensal a taxa máxima de queda de serapilheira ( $\gamma_{f,max}$ ) de cerca de  $0,02 \text{ mês}^{-1}$  (isto é, cerca de 25% ao ano). A taxa de queda de serapilheira é função da idade e cresce assintoticamente para a máxima taxa de queda de serapilheira, variando de próximo de zero no primeiro ano, até o valor máximo aos cinco anos. A equação para cálculo da taxa de queda de serapilheira é a seguinte:

$$\gamma_f = \frac{\gamma_{f,max}}{1 + c_\gamma \exp(-k_\gamma t_{ip})} \quad \text{Eq. 4}$$

em que:

$\gamma_f$  = taxa de queda de serapilheira (folha e pequenos galhos) ( $\text{ano}^{-1}$ );

$\gamma_{f,max}$  = taxa mensal máxima de queda de serapilheira ( $\text{mês}^{-1}$ ); e

$c_\gamma$  e  $k_\gamma$  = constantes empíricas (cujos valores recomendados pelos autores do modelo são 15 e 0,12, respectivamente), sendo  $t_{ip}$  a idade do povoamento (em meses).

### 2.1.1.7. Taxa de Renovação das Raízes

A taxa de renovação das raízes é também considerada no cálculo da biomassa de raízes, sendo um valor fixo a ser informado. Almeida et al. (2004) relataram um valor mensal de 0,025 ( $\text{mês}^{-1}$ ) para o eucalipto (cerca de 30% da biomassa de raízes por ano).

### 2.1.1.8. População de Árvores

O modelo requer a população de árvores por área porque os coeficientes utilizados para a partição de carbono são calculados para árvores individuais. A informação mais valiosa para fins econômicos é a taxa de crescimento e o volume final (ou massa) de madeira dos troncos, considerando-se a mortalidade durante o período. Para obter tais informações, o modelo 3-PG utiliza a relação empírica, universalmente conhecida e aceita, entre o número de caules e o peso individual médio máximo atingível, calculando-se as alterações populacionais, conforme pode ser visualizado na figura a seguir.

Na simulação do sub-modelo de população, a massa inicial de caule é um dado de entrada e a massa média no fim do primeiro ano é gerada pelo modelo e testada contra a máxima massa individual de caule para a população atual. O procedimento é ilustrado na Figura 1. Em outras palavras, a biomassa total de caule em cada ano, calculada pela aplicação dos coeficientes alométricos, é utilizada para determinar prováveis alterações na população.

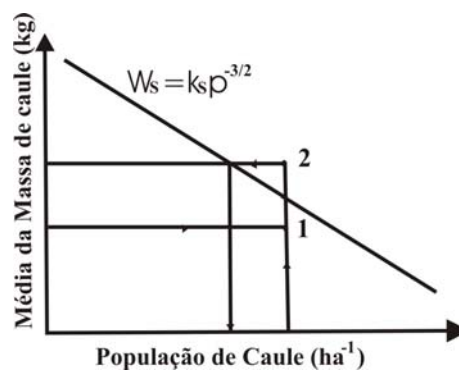


Figura 1\_Diagrama representando o submodelo de população de árvores, em que  $W_s$  é a massa média de caule,  $p$  é a população de caule e  $K_s$  é um coeficiente que é calculado usando o modelo 3-PG. Adaptado de Landsberg e Waring (1997).

### 2.1.1.9. Alocação de Carbono

Os produtos obtidos da fotossíntese das folhas são transportados para várias partes da árvore, onde são usados para respiração e como material estrutural.

Segundo Landsberg e Waring (1997) na distribuição da biomassa oriunda da produção primária líquida ( $P_N$ ), calculam-se, inicialmente, a quantidade alocada para o crescimento e renovação das raízes finas. Para tal, leva-se em consideração duas generalizações de alocação de carbono em árvores:

1) Existe significativa correlação inversa entre o crescimento do caule e a fração da  $P_N$  alocada para as raízes.

2) Maior fração de  $P_N$  é alocada para as raízes finas (variando entre 25 e 60%), conforme as condições ambientais fiquem mais restritivas.

Essa idéia encontra respaldo no conceito universal de equilíbrio funcional na determinação da proporção raízes/parte aérea, o qual, segundo Noordwijk et al. (1996), pode ser aplicado para povoamentos florestais desde que expresso em termos de relação entre folhas e raízes finas, uma vez que o acúmulo de material lenhoso pode subverter a interpretação desses índices.

Na modelagem de alocação de carboidratos para as raízes, o modelo 3-PG utiliza os modificadores ambientais ( $f_0$ ,  $f_T$  e  $f_D$ ) para prover uma estimativa para a restrição ambiental. Não havendo restrições, os valores serão iguais a 1, e a Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida Utilizável (RFAAU), é igual à Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (RFAA). Quando ocorrem restrições, RFAAU será uma parcela proporcionalmente menor de RFAA e, dessa forma, a relação RFAAU/RFAA pode ser usada como um sinalizador para a diferenciação na taxa de alocação de carboidratos para as raízes finas. O modelo calcula o coeficiente de alocação nas raízes, principalmente das raízes finas, usando uma equação empírica que descreve uma curva hiperbólica, isto é:

$$n_r = \frac{0,8}{1 + 2,5 \left( \frac{RFAAU}{RFAA} \right)} \quad \text{Eq. 5}$$

em que:

$n_r$  = coeficiente de alocação de carbono para as raízes.

O valor do numerador (0,8) corresponde ao valor máximo desse coeficiente.

Segundo Landsberg e Waring (1997) há evidências também do efeito da nutrição sobre esse índice, fazendo que maior proporção de carbono seja alocada às raízes em solos de baixa fertilidade, embora haja prevalência dos efeitos climáticos (mesmo estando em solos férteis, as árvores não apresentaram bom desenvolvimento sem um suprimento adequado de água ou temperatura). Entretanto, segundo esses autores o entendimento que se tem sobre a dinâmica dos nutrientes e processos de absorção, no âmbito de uma floresta, não é suficiente para se estabelecer a quantificação desse relacionamento. Sugeriram então introduzir uma nova variável na equação (5), a qual ficou da seguinte forma:

$$n_r = \frac{0,8}{1 + 2,5 * m * \left( \frac{RFAAU}{RFAA} \right)} \quad \text{Eq. 6}$$

em que:

$m$  tem um valor máximo de 1, em solos de elevada fertilidade, sendo reduzido até 0, conforme a fertilidade decresce.

Sabendo-se que a soma dos coeficientes de alocação deve ser igual a 1 e tendo o valor de  $n_r$ , calculado pela equação 6, os coeficientes de alocação de carbono para os caules e folhas serão calculados, respectivamente, pelas equações:

$$n_s = \left( \frac{1 - n_r}{P_{FS} + 1} \right) \quad \text{Eq. 7}$$

$$n_f = 1 - n_r - n_s \quad \text{Eq. 8}$$

em que:

$n_s$  = coeficiente de alocação de carbono para os caules;

$P_{FS}$  = relação entre as taxas de crescimento dos ramos e de troncos, cada uma delas definidas como a razão entre a variação na massa do componente, folhagem e troncos, e a variação no diâmetro a altura do peito, que está sendo usado como substituto para a massa total da árvore; e

$n_f$  = coeficiente de alocação de carbono para as folhas.

## 2.2. Balanço Hídrico

O balanço hídrico é um sistema de contabilização da água do solo, onde a variação do armazenamento, num intervalo de tempo, representa o balanço entre as entradas e saídas de água do local considerado.

A precipitação pluvial pode ser considerada como a entrada de água em determinado volume de solo e a interceptação de água pelo dossel, o escoamento superficial, a drenagem profunda e a evapotranspiração como as perdas ou saídas. Com exceção da precipitação, os demais processos são bastante influenciados pela densidade de plantas, pelo tipo de solo, pelo comportamento fisiológico da planta e pela estrutura e arquitetura do dossel (ALMEIDA; SOARES, 2003).

Segundo Souza et al. (2006a), a disponibilidade hídrica do solo é influenciada pelas condições térmicas e pela distribuição espaço-temporal das precipitações, o que influencia os processos de evapotranspiração e absorção de nutrientes, afetando, dessa forma, a produtividade das plantas.

Em estudos realizados com o eucalipto (clone de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus uroplhylla*), Stape (2002) observou que a produção de madeira foi afetada de forma significativa em períodos de déficit hídrico.

A existência de uma relação entre a disponibilidade hídrica e a produtividade florestal, em casos de déficit hídrico, pode ser ocasionada pela diminuição da taxa fotossintética, uma vez que uma deficiência de água faz que ocorra aumento da resistência estomática, ocasionando queda na produção (VOSE; SWANK, 1994).

Segundo D'angiolella et al. (2005), a avaliação das condições de disponibilidade de água no espaço de solo ocupado pelas raízes das plantas fornece informações importantes para fins de planejamento regional, como a época mais apropriada ao longo do ano para o preparo do solo, semeadura, plantio e a viabilidade de implantação de sistemas de irrigação ou drenagem. Também, permite definir os períodos de deficiência hídrica, em que há necessidade de irrigação suplementar, e identificar os períodos de excesso, os quais poderão ser aproveitados para o armazenamento superficial da água da chuva.

### **2.2.1. Precipitação**

A precipitação pluvial é um dos elementos meteorológicos que mais contribuem para o bom desenvolvimento de qualquer cultura, sendo de fundamental importância em modelos hidrológicos, uma vez que ativa os processos de escoamento e de transporte de massa em bacias hidrográficas (CHAUBEY et al., 1999).

O conhecimento de algumas características da precipitação pluvial como sua intensidade, o total precipitado e a duração, além da distribuição temporal e espacial, ajudam o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, bem como a otimização de

atividades como irrigação, geração de energia e abastecimento doméstico e industrial, possibilitando também a prevenção e o controle de inundações e do processo erosivo do solo (TUCCI, 1997).

É de grande importância conhecer a distribuição da precipitação durante o ano, uma vez que só o conhecimento do total precipitado não é suficiente para indicar se o solo atingiu ou não nível satisfatório de armazenamento de água, posto que as precipitações podem ocorrer de maneira concentrada e em poucos dias, favorecendo apenas a ocorrência de escoamento superficial e drenagem da água pelo solo.

Ao se precipitar, a água da chuva é primeiramente interceptada pelo dossel, podendo, então, ser evaporada. Da água que chega até a superfície do solo, parte é infiltrada e parte pode escoar superficialmente. A água infiltrada se redistribui ao longo do perfil do solo (BALIEIRO, 1999). Ao mesmo tempo que entra no solo, a água pode estar sendo evaporada pela superfície ou sendo retirada do solo pelas raízes e também transpirada pelas folhas do dossel.

A água da chuva atua também no processo de transporte de nutrientes minerais no solo, tanto pela incidência direta sobre o solo sem interação com as copas quanto pela lavagem das copas ou escoamento pelo tronco (CINTRA, 2004), agindo também no processo de termorregulação das culturas.

### **2.2.2. TraNspiração**

Transpiração é o processo pelo qual a água contida em um corpo é perdida na forma de vapor, por necessidades fisiológicas, sendo controladas por mecanismos físicos, morfológicos e fisiológicos. Nas plantas, ela evita o aquecimento exagerado, principalmente das folhas do vegetal, através da eliminação do excesso de calor na forma de vapor através dos estômatos.

A transpiração é bastante influenciada pelas condições do ambiente, principalmente a temperatura e o déficit de saturação do ar. Sob as mesmas condições atmosféricas, diferenças nesses parâmetros podem indicar um funcionamento estomático mais ou menos eficiente, implicando menor perda de água pela planta (INOUE; RIBEIRO, 1988).

Existem várias metodologias para estimativa da transpiração, dentre as quais se destacam os métodos combinados, que levam em consideração os efeitos do balanço de energia e do poder evaporante do ar, ou seja, a capacidade de secamento da superfície. O método de Penman-Monteith 1965, além de considerar os dois efeitos citados, prevê a

resistência à perda de vapor de água imposta pelo dossel nas trocas gasosas. Essa resistência é chamada de resistência estomática, que é o inverso da condutância estomática, e seu desenvolvimento teórico supõe que o dossel vegetativo pode ser representado por uma única e enorme folha, teoria da “big leaf”. Assim, a resistência estomática é um parâmetro do modelo para a determinação da transpiração (LESSA, 2007a).

As perdas de água por transpiração das plantas de eucalipto, como da maioria de outras espécies de vegetais, são determinadas principalmente pela demanda climática, que é a resultante das relações entre radiação, déficit de saturação de vapor na atmosfera, temperatura e velocidade do vento, pelos mecanismos fisiológicos relacionados com a resposta estomática a fatores ambientais e pela estrutura da copa, principalmente pelo índice de área foliar e disponibilidade de água no solo (CALDER, 1992; LIMA, 1996a).

De maneira geral, a perda de água através da transpiração está relacionada com a fotossíntese, pois ambos os processos utilizam o mesmo caminho de difusão desde o mesófilo da folha até o ambiente, através do estômato (INOUE; RIBEIRO, 1988). Dessa forma, elevando a fotossíntese, a transpiração também aumenta.

Segundo Barlow (1983), à medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração decresce como resultado do fechamento dos estômatos. Esse é um importante mecanismo de defesa que as plantas apresentam contra as perdas exageradas de água e eventual morte por dessecação.

#### **2.2.2.1. Condutância Estomática**

O processo de trocas gasosas entre a atmosfera e os espaços intercelulares no interior do vegetal é feito pelos estômatos, que são válvulas turgooperadas, ou seja, válvulas que permitem que a planta absorva mais rapidamente a água, aumentando a turgescência e, com isso, permitindo a abertura dos estômatos que estão localizados na epiderme das folhas, flores, pecíolos etc. A abertura dos estômatos é controlada por vários fatores, entre os quais se destacam os fisiológicos e os meteorológicos.

A condutância estomática ( $g_s$ ) é um fator importante na ciclagem e balanço de água,  $CO_2$  e energia entre plantas e a atmosfera (MATSUMOTO et al., 2005).

O movimento estomatal é o mecanismo mais importante nas trocas que acontecem entre as plantas terrestres. Através do estômato ocorre a troca de vapor de água e dióxido de carbono entre a vegetação e a atmosfera. Diferentes modelos de crescimento têm se



baseado na resposta da condutância estomática às variáveis ambientais (MIELKE et al., 1999).

As plantas, ao absorverem CO<sub>2</sub>, inevitavelmente perdem água pelas folhas. Essa perda de água ocorre principalmente através dos estômatos, que apresentam mecanismos para controlar o seu grau de abertura. Esse controle é atribuído à condutância estomática foliar, que é frequentemente utilizada como indicador da deficiência hídrica (MC DERMIT, 1990, citado por PAIVA et al., 2005).

Modelos de condutância estomática são mais influenciados pelas condições do meio em que está e pela fisiologia estomática da folha (MACKAY, 2003).

A condutância pode ser entendida como um mecanismo fisiológico que as plantas terrestres vasculares possuem para controle da transpiração e, portanto, determina a taxa de crescimento (JARVIS; MCNAUGHTON, 1986).

Sua quantificação frente a variação dos fatores meteorológicos é fundamental para determinar o total de água transpirada pelas plantas (LESSA, 2007a).

As variáveis meteorológicas que controlam as trocas gasosas entre o dossel e a atmosfera são irradiância solar e temperatura do ar, que disponibilizam energia para o processo de evaporação e déficit de pressão de vapor. Elas atuam no processo de difusão do vapor de água entre a cavidade substomatal e o ar circundante. É a disponibilidade de água no solo que controla a abertura estomática, dificultando ou facilitando o processo de difusão do vapor de água entre a cavidade substomatal e o ar atmosférico (LESSA, 2007a).

Segundo Kallarackal e Somen (1997), existe um padrão consistente quanto à variação da condutância estomática durante o dia, ou seja, pela manhã geralmente se vêem maiores valores de condutância, enquanto no período da tarde esses valores são reduzidos. Os mesmos autores, em análises preliminares, verificaram que a condutância estomática foi controlada pelo saldo de radiação e pelo déficit de pressão de vapor. Logo, o fechamento dos estômatos, que geralmente acontece próximo ao meio-dia, pode ser uma estratégia evolutiva para maximizar a eficiência do uso da água, pois os estômatos permanecem com maior abertura apenas quando o déficit de pressão de vapor atmosférico é menor.

Leuning (1990) e Dye e Olbrich (1993) citados por Sacramento Neto (2001) verificaram que a condutância estomática em plantas de *E. grandis* é muito sensível ao déficit de pressão de vapor.

### 2.2.3. Radiação Solar

Uma das principais fontes de energia na terra é a radiação solar, uma vez que é a principal forma de troca de energia entre as plantas e o ambiente, sendo responsável pela distribuição da fauna e flora no planeta, o que influencia diretamente as atividades de todos os seres vivos. O conhecimento da intensidade e variação da radiação ao longo do dia é extremamente importante na agropecuária (SANTOS et al., 2003).

A irradiância solar global ( $R_g$ ) é a quantidade de energia que chega à superfície da terra na forma de radiação de ondas curtas, após sofrer interações com a atmosfera. Ela é constituída da radiação solar direta e radiação solar difusa (VIANELLO; ALVES, 2000).

A radiação direta é a parcela da energia radiante que chega diretamente na superfície do solo. Em dias de céu descoberto, essa componente é muito maior do que a difusa, exceto nos horários em que a altitude solar é muito baixa. A radiação difusa é a outra parcela de energia radiante proveniente das demais direções que, em dias de céu limpo, atinge apenas 15% do total da radiação que chega à superfície terrestre.

Segundo Iqbal (1978), a irradiação difusa em dado instante depende, principalmente, da altitude e da latitude do local, da declinação solar e do ângulo de elevação, do índice de turbidez da atmosfera, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da nebulosidade. A nebulosidade, associada ao tipo de nuvem, é um dos principais fatores que afetam a irradiância solar difusa na superfície terrestre.

Iqbal (1983) relatou que, em condições de céu descoberto e na ausência de partículas sólidas em suspensão, aproximadamente metade da radiação solar difusa retorna ao espaço, e somente outra parte é enviada na direção da superfície terrestre.

Superfícies com diferentes exposições e declividades recebem diferentes totais de radiação solar, sendo esta o fator primário que condiciona os elementos climatológicos e fisiológicos relacionados à produtividade. A componente direta é influenciada tanto pela exposição quanto pela inclinação e a componente difusa, apenas pela inclinação, de forma que, em dias nublados, o efeito da exposição é minimizado (TURCO; RIZZATTI, 2006).

Lima (1996b) desenvolveu um modelo matemático para estimar a irradiação solar difusa horária para o Município de Viçosa. Esse modelo foi baseado em metodologia adotada por Orgill e Hollands em Toronto, Canadá, e por Erbs nos Estados Unidos, para os mesmos fins. Os resultados obtidos em Viçosa, MG, foram bem confiáveis, apresentado coeficientes de determinação de até 85,74% quando usado o modelo desenvolvido por Lima e 83,35% para o modelo proposto por Erbs e usado sem nenhum ajuste para Viçosa.

Toda a energia absorvida pela superfície e subtraída pela energia que foi emitida por ela é conhecida como saldo de radiação, constituído pelo Balanço de Ondas Curtas (BOC) e Balanço de Ondas Longas (BOL).

O balanço de ondas longas (BOL) corresponde ao saldo de energia entre radiação emitida pelo sistema solo-planta-atmosfera e a contra-radiação atmosférica. A contra-radiação depende, basicamente, da temperatura do ar, da quantidade de vapor d'água presente na atmosfera e da cobertura de nuvens. A radiação emitida pelo sistema solo-planta-atmosfera depende da temperatura do solo e da sua emissividade (VIANELLO et al., 2000).

A maior parte da energia que é absorvida pela superfície é de ondas curtas, e geralmente em modelos de balanço hídrico o terreno é considerado como plano, fazendo que no tratamento dado à disponibilidade de energia em relação à radiação solar global ocorram distorções em regiões com terrenos de relevo ondulado (FACCO, 2004).

Obter e estabelecer uma base de dados de irradiação global em plano inclinado não é viável, pois seria necessária a utilização de dezenas de piranômetros, um para cada inclinação (ROSA, 2003). Desta forma faz-se uso da lei dos co-senos para corrigir a irradiância solar global em regiões de relevo ondulado, uma vez que ela é baseada no grau de inclinação e na face de exposição do terreno.

Segundo Facco (2004), existe importante influência das diferentes inclinações e orientações das encostas nos totais diários de evapotranspiração. De forma geral, esse fato está relacionado com a maior ou menor disponibilidade de energia para o processo de mudança de fase da água. Tal processo depende da face de exposição do terreno.

### **2.2.3.1. Albedo**

Uma parte da radiação solar incidente na superfície é refletida, podendo ser influenciada pelo espaçamento entre plantas, idade da cultura (SARAIVA et al., 1997). O dossel vegetativo da maioria das culturas reflete cerca de 20 a 30% da radiação solar incidente. Essa radiação refletida é representada, no balanço de radiação, pelo coeficiente de reflexão, também denominado de reflectância (AZEVEDO et al., 1997) ou, ainda, de “albedo de superfície”.

A variação temporal do albedo planetário da Terra é importante no monitoramento das mudanças climáticas globais, visto que o balanço energético global entre o fluxo de radiação solar incidente no topo da atmosfera e o que é devolvido ao espaço externo

controla, em última instância, a temperatura média da atmosfera (VEISSID; PEREIRA, 2000).

O coeficiente de reflexão ( $\alpha$ ) sobre determinada superfície está relacionado com o tipo de cobertura do solo e da sua umidade, da espécie cultivada, do arranjo foliar, do ângulo de incidência dos raios solares (época do ano e hora do dia), tipo (direta, difusa e global) e da quantidade de irradiância (STANHILL et al., 1968; BLAD; BAKER, 1972; LEITÃO et al., 1990), citados por Galvani (2002). O albedo é uma medida adimensional da radiação solar refletida pelas superfícies continentais.

Para superar as limitações decorrentes da utilização de albedos prescritos para as superfícies continentais, modelos de transferências de radiação nos dosséis de vegetação têm sido desenvolvidos para considerar a variação do albedo causado por ambos os fatores internos e externos ao dossel (SONG, 1998).

Na maioria dos modelos de transferência de radiação, supõe-se que a variação diurna do albedo da superfície é simétrica, parabólica e forçada pela variação diurna do ângulo zenital. Valores altos ocorrem próximo do nascer e pôr-do-sol e mínimos, próximos do meio-dia. Contudo, em muitos casos a variação não é simétrica, especialmente sobre superfícies vegetadas. Embora os efeitos mencionados anteriormente sobre o albedo tenham sido extensivamente explorados (MONTEITH, 1973; SHUTTLEWORTH; WALLACE, 1985; LEITÃO, 1994), variáveis micrometeorológicas, como o vento e o orvalho, podem também ser importantes (CORREIA, 2001).

Segundo Minnis et al. (1997) citado por Correia (2001), as variáveis micrometeorológicas podem causar uma assimetria no albedo diurno tão alto quanto 10%.

#### **2.2.4. Déficit de Pressão de Vapor**

O déficit de pressão de vapor (DPV) é uma grandeza muitas vezes utilizada para caracterizar o “poder de secagem” do ar, sendo por isso importante indicador para a determinação das taxas de crescimento e evapotranspiração das plantas. Seu valor é dado pela diferença entre a pressão de vapor de saturação e a pressão de vapor do momento (SILVA, 2001).

O déficit de pressão de vapor d’água entre o interior da folha e o ar externo (DPV) é um importante fator ambiental que afeta o funcionamento estomático (STRECK, 2003).

O DPV é uma variável importante nos modelos de crescimento, uma vez que, dependendo do local e das condições atmosféricas regionais, a precipitação e a

evapotranspiração (ET) terão papéis fundamentais. E como a medida direta de ET para uma escala regional não é fácil, é necessário obter os parâmetros precisos para contabilizar a ET, sendo o déficit de pressão de vapor (DPV) um elemento meteorológico importante para a estimativa da evapotranspiração (CASTELLVI et al., 1997).

Pouco se conhece sobre a resposta do crescimento de plantas ao DPV. Em geral, o aumento do crescimento de plantas relacionado ao DPV é atribuído a mudanças na fisiologia. Primeiro, reduzindo o DPV, aumenta-se a abertura estomatal que conduz a uma condutância estomática mais alta, aumentando a taxa de fotossíntese líquida e, também, o ganho de carbono. Segundo, a taxa de transpiração das folhas diminui com um DPV menor (SCHULZE; CORREDOR, 1982, citado por CUNNINGHAM 2006). Já o DPV elevado (atmosfera seca) provoca o fechamento dos estômatos (controle fisiológico) (SOUZA FILHO, 2002).

Um alto valor de DPV tem efeito direto sobre a produtividade, uma vez que pode causar o fechamento do dossel e reduzir o crescimento da planta (ALMEIDA; LANDSBERG, 2003).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Área Experimental**

Este estudo foi realizado para um ciclo de crescimento de eucalipto plantado em áreas pertencentes à empresa Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), usando dados meteorológicos coletados em quatro regiões da bacia hidrográfica do rio Doce, localizada no Estado de Minas Gerais. Na bacia, verifica-se relevo bastante ondulado, com altitudes nas localidades estudadas variando entre 240 e 1.273 m, o que caracteriza variação climática importante entre elas.

Os municípios escolhidos (Figura 2 e Quadro 2) para realizar o estudo foram Belo Oriente (Rio Doce), Santa Bárbara (Santa Bárbara), Peçanha (Virginópolis) e Antônio Dias (Cocais), com caracterização variada de clima e relevo, como pode ser comprovado pela descrição a seguir, obtida de Souza et al. (2006b).

A região de Rio Doce pertencente ao município de Belo Oriente possui relevo plano a forte-ondulado, com solos medianamente profundos, argilosos e com baixadas férteis. A precipitação média anual é de cerca 1.202 mm, com temperatura média anual de 25,2 °C e umidade relativa média anual de 66%. A altitude da estação meteorológica é de 240 m. De acordo com um balanço hídrico climatológico possui um déficit hídrico de 402 mm.

A região de Santa Bárbara pertencente ao município de Santa Bárbara, possui relevo suave-ondulado a montanhoso, com solos rasos a profundos, argilo-arenosos e pouco férteis. A precipitação média anual é de 1.276 mm. Com temperatura média anual de 21,4 °C e umidade relativa média anual de 59%, tem um déficit hídrico de 119 mm determinado pelo balanço hídrico climatológico. A altitude da estação meteorológica de 847 m.

A região de Virginópolis pertencente ao município de Peçanha, possui relevo suave a forte-ondulado, com solos profundos, argilosos e pouco férteis, e precipitação média anual de 1.212 mm. A temperatura média anual é de 22,2 °C e a umidade relativa média anual de 60%, com um déficit hídrico obtido com balanço hídrico climatológico de 162 mm e a altitude da estação meteorológica de 1.015 m.

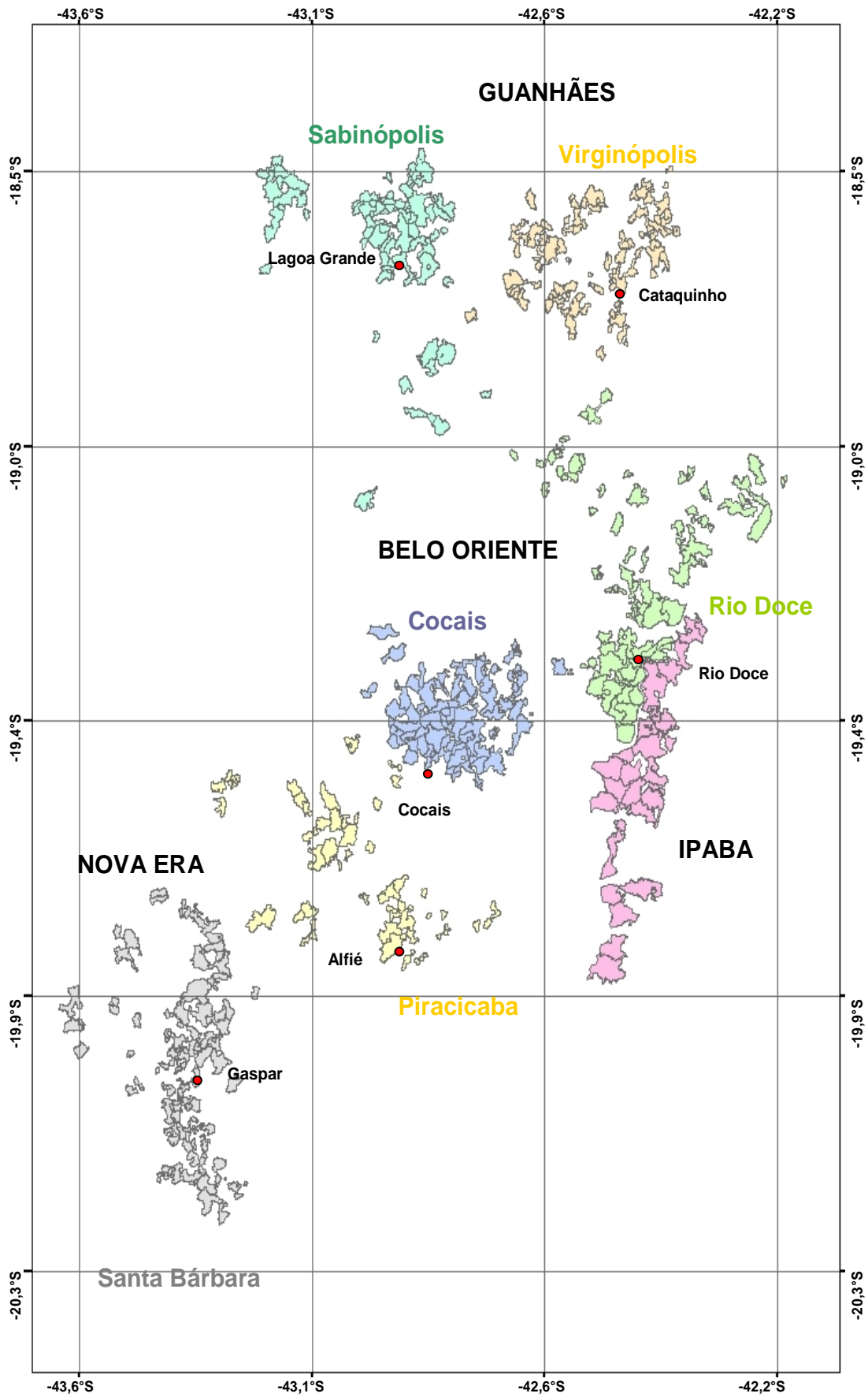


Figura 2\_Localização das áreas em estudo (Regional, Região e Projeto).

A região de Cocais pertencente ao município de Antônio Dias, possui relevo forte-ondulado a montanhoso, com solos pouco profundos, argilo-arenosos e pouco férteis. A precipitação média anual é de 1.258 mm, temperatura média anual de 21,2 °C, umidade relativa média anual de 66 % e com déficit hídrico de 148 mm, determinado por um balanço hídrico climatológico. Sendo a altitude da estação meteorológica de 1.273 m.

**Quadro 2** Localização das estações meteorológicas

Região	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Temperatura Média (°C)	Precipitação (mm)	Déficit Hídrico (mm)
Virginópolis	Peçanha	18°42'24"S	42°29'25"O	1.015 m	22,2	1.212	162
Cocais	Antônio Dias	19°29'19"S	42°51'54"O	1.273 m	21,2	1.258	148
Santa Bárbara	Santa Bárbara	19°59'00"S	43°18'19"O	847 m	21,4	1.276	119
Rio Doce	Belo Oriente	19°18'50"S	42°23'38"O	240 m	25,2	1.202	402

\*Valores correspondentes às localizações das estações meteorológicas.

### 3.2. O Modelo 3-PG

O modelo 3-PG foi originalmente concebido em base mensal. Neste estudo foi feita a alteração da escala temporal do cálculo do balanço hídrico, que passou para base horária. Foram feitas simulações com as implementações derivadas deste estudo e pelo modelo 3-PG no seu formato “original”.

As modificações efetuadas no balanço de radiação e balanço hídrico foram implementados com a finalidade de simular o crescimento de plantios de eucalipto, porém com base na lógica do 3-PG (eficiência do uso do dossel, partição de carbono e equações alométricas).

As modificações no tratamento do balanço de radiação levaram em consideração a variação da energia solar de acordo com a face de exposição e inclinação do terreno. No balanço hídrico modificou-se o tratamento da evapotranspiração, no que se refere ao controle estomático decorrente da variação na temperatura do ar, do déficit de pressão de vapor (DPV) e da irradiância solar global. E também se modificou a capacidade de armazenamento de água no solo (CAD), que variou com a profundidade do sistema radicular e disponibilidade total de água no solo (DTA).

A representação gráfica do modelo 3-PG pode ser visualizada na Figura 3. As siglas que nela aparecem podem ser vistas no Quadro 3.





# REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DO MODELO 3-PG

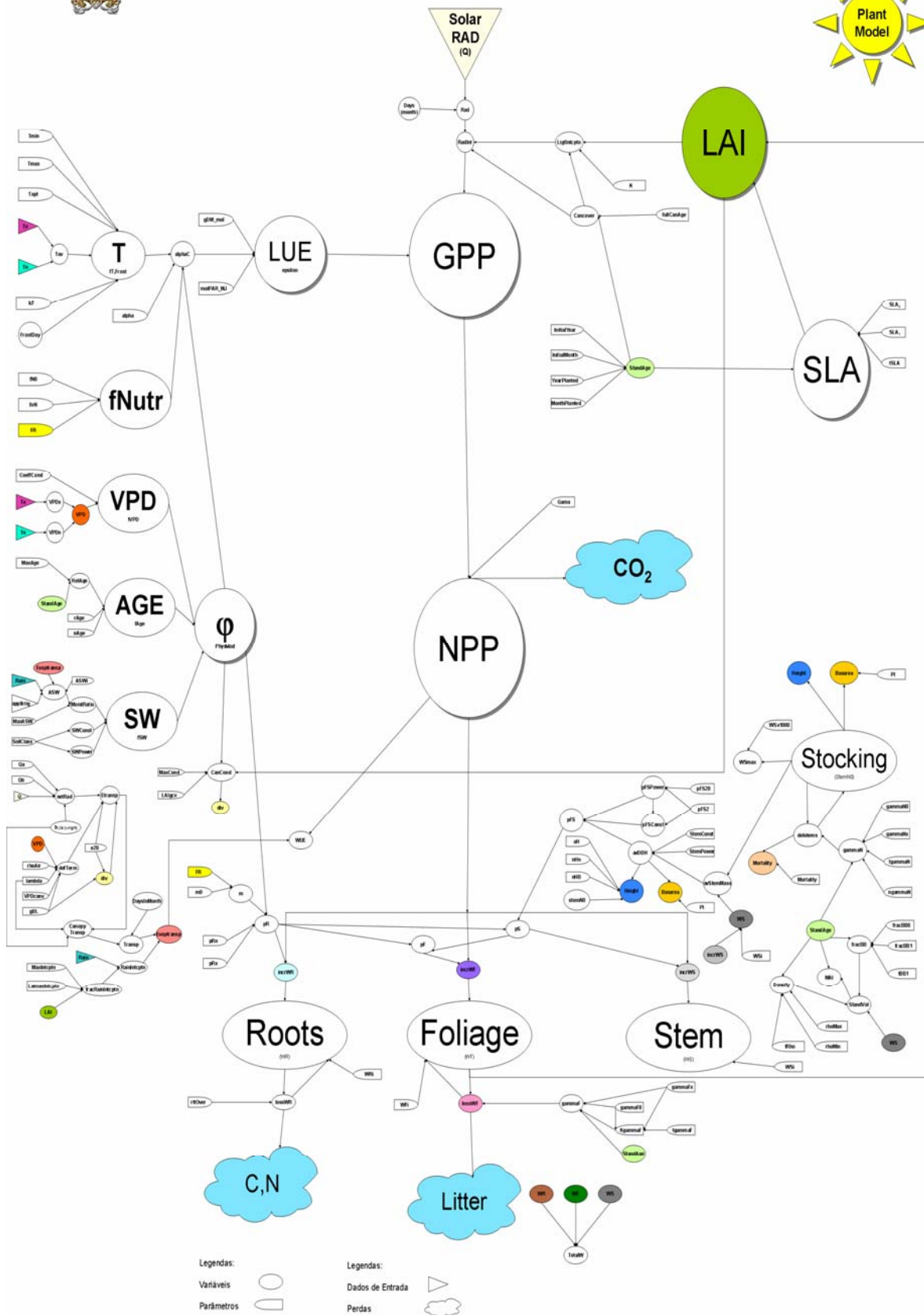


Figura 3\_ Representação gráfica do Modelo 3-PG.

**Quadro 3 Siglas da representação gráfica do Modelo 3-PG**

<b>SÍMBOLO</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PARÂMETRO</b>	<b>UNIDADE</b>
AGE	IDADE	ANOS
aH	CONSTANTE NA RELAÇÃO ALTURA DO CAULE	Adm
alpha	EFICIÊNCIA QUÂNTICA DO DOSSEL	molC/molPAR
alphaC	EFICIÊNCIA QUÂNTICA DO DOSSEL APÓS OS MODIFICADORES	mol mol <sup>-1</sup>
ApplIrrig	APLICAÇÃO DE IRRIGAÇÃO	mm month <sup>-1</sup>
ASW	DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO	mm
ASWi	DISPONIBILIDADE INICIAL DE ÁGUA NO SOLO	mm
avDBH	DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO MÉDIO	cm
avstemMass	MASSA MÉDIA DE CAULE	kg <sub>DM</sub> /tree
Basarea	ÁREA BASAL PADRÃO	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
CanCond	CONDUTÂNCIA DO DOSSEL	m s <sup>-1</sup>
Cancover	FRAÇÃO DA ÁREA COBERTA PELO DOSSEL	Adm
Canopy Transp	TRANSPIRAÇÃO DO DOSSEL	
CoeffCond	DETERMINA A RESPOSTA DA CONDUTÂNCIA DO DOSSEL AO VPD	mbar
CVI	INCREMENTO NO VOLUME DE CAULE NO CORRENTE PERÍODO	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
Days	DIAS	
DaysInMonth	DIAS EM MÊS	
defTerm	EQUAÇÃO UTILIZADA NA TRANSPIRAÇÃO	
delstems	MORTALIDADE DE CAULE	
Density	DENSIDADE DA MADEIRA	t <sub>DM</sub> m <sup>-3</sup>
div	DIVISÃO	
e20	PRESSÃO DE VAPOR SATURADO COM TEMPERATURA A 20 °C	
Etransp	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO DOSSEL	mm
Evaptransp	EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO DOSSEL COM A INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO	mm
Epsilon	EFICIÊNCIA NO USO DE LUZ BASEADO NO TOTAL DE BIOMASSA	g <sub>DM</sub> MJ <sup>-1</sup>
fAge	MODIFICADOR DE IDADE	
fN0	RELACIONADO A FERTILIDADE VALOR DE FNUTR QUANDO FR =0	Adm
fnN	EFEITO DE (1-FR) EM FNUTR	Adm
fNutr	MODIFICADOR DE FERTILIDADE	Adm
Foliage	FOLHAGEM	
FR	FERTILIDADE	Adm
fracBB	FRAÇÃO DE CASCA E GALHO	Adm
fracBB0	FRAÇÃO DE RAMO E CASCA PARA IDADE 0	Adm
fracBB1	FRAÇÃO DE RAMO E CASCA PARA STANDS MADUROS	Adm
fracRainintcptn	FRAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO INTERCEPTADA	Adm
FrostDay	DIAS DE PRODUÇÃO PERDIDO POR DIAS DE GELO	
fSW	MODIFICADOR DE ÁGUA NO SOLO	
fT	MODIFICADOR DE TEMPERATURA	
fullCanAge	IDADE PARA FECHAMENTO DO DOSSEL	yr
fVPD	MODIFICADOR PARA O DÉFICIT DE PRESSÃO	
gammaF	TAXA ATUAL DE LITTERFALL DE FOLHA	month <sup>-1</sup>
gammaF0	TAXA DE SERAPILHEIRA PARA T=0	month <sup>-1</sup>
gammaFx	MÁXIMA TAXA DE SERAPILHEIRA	
gammaN	RELACIONADO A MORTALIDADE	month <sup>-1</sup>
gammaN0	TAXA DE MORTALIDADE DE SEMENTE (T=0)	yr <sup>-1</sup>
gammaNx	TAXA DE MORTALIDADE PARA T GRANDE	yr <sup>-1</sup>
gBL	CAMADA-LIMITE ONDE A CONDUTÂNCIA DO DOSSEL É ASSUMIDA CONSTANTE	
gDM_mol	PESO MOLECULAR DA MATÉRIA SECA	gm mol <sup>-1</sup>
GPP	PRODUÇÃO PRIMÁRIA BRUTA	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
h	COMPRIMENTO DO DIA	
Height	ALTURA	
incrWF	INCREMENTO DE BIOMASSA DE FOLHA	
incrWR	INCREMENTO DE BIOMASSA DE RAIZ	
incrWS	INCREMENTO DE BIOMASSA DE TRONCO	
InitialMonth	MÊS INICIAL	
InitialYear	ANO INICIAL	
K	COEFICIENTE DE EXTINÇÃO PARA ABSORÇÃO DA PAR PELO DOSSEL	Adm
kF	DIAS DE PRODUÇÃO PERDIDO POR DIAS DE GELO	
KgammaF	FATOR DEPENDENTE DA IDADE	
LAI	ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
Laigcx	LAI PARA MÁXIMA CONDUTÂNCIA DO DOSSEL	
LaimaxIntcptn	LAI PARA MÁXIMA INTECEPTAÇÃO DE PRECIPITAÇÃO	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
lambda	CALOR LATENTE DE VAPORIZAÇÃO DA ÁGUA	
LightIntcptn	INTERCEPTAÇÃO DE LUZ	
lossWF	PERDA DE BIOMASSA DE FOLHA	
lossWR	PERDA DE BIOMASSA DE RAIZ	
LUE	EFICIÊNCIA NO USO DE LUZ	
m	COEFICIENTE DE PARTIÇÃO	Adm
m0	VALOR DE M QUANDO FR =0	
MAI	INCREMENTO MÉDIO ANUAL	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup>
MaxAge	MÁXIMA IDADE-PADRÃO USADA NO MODIFICADOR DE IDADE	yr
MaxASW	MÁXIMA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SOLO	mm
Maxcond	MÁXIMA CONDUTÂNCIA DO DOSSEL	m s <sup>-1</sup>
MaxIntcptn	MÁXIMA INTERCEPTAÇÃO	Adm

continua....

Quadro 3 cont.

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO DO PARÂMETRO	UNIDADE
MoistRatio	RELAÇÃO DE UMIDADE	
molPAR_MJ	CONVERSÃO DE RADIAÇÃO SOLAR PARA PAR	mol MJ <sup>-1</sup>
MonthPlanted	MÊS PLANTADO	
Mortality	MORTALIDADE	trees ha <sup>-1</sup>
nAge	EFEITO DA IDADE RELATIVA NA FUNÇÃO PARA IDADE	Adm
netRad	RADIAÇÃO LÍQUIDA	
ngammaN	FORMA DE RESPOSTA A MORTALIDADE	Adm
nHb	EFEITO DO DAP NA RELAÇÃO ALTURA DO CAULE	
NPP	PRODUÇÃO PRIMÁRIA LÍQUIDA	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
nHn	EFEITO DO STOCKING NA RELAÇÃO ALTURA DO CAULE	
p.S	FRAÇÃO DE NPP ALOCADA PARA O CAULE	
pF	FRAÇÃO DE NPP ALOCADA PARA A FOLHA	Adm
pFS	RELAÇÃO DE ALOCAÇÃO DE BIOMASSA PARA FOLHA E TRONCO	Adm
pFS20	PARTIÇÃO FOLHA:CAULE, D=20 CM	
pFS2	PARTIÇÃO FOLHA:CAULE, D=2 CM	
pFSConst	RELACIONADO AO PFS	
pFSPower	RELACIONADO AO PFS	
PHYSMOD( $\phi$ )	MODIFICADOR FISIOLÓGICO	
PI	PI	Adm
pR	FRAÇÃO DE NPP ALOCADA PARA A RAIZ	Adm
pRn	FRAÇÃO MÍNIMA DE PPL ALOCADA PARA A RAIZ	
pRx	FRAÇÃO MÁXIMA DE PPL ALOCADA PARA A RAIZ	
Q	RADIAÇÃO SOLAR INCIDENTE	
Qa	RELAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR LÍQUIDA VS. INTERCEPTAÇÃO	W m <sup>-2</sup>
Qb	RELAÇÃO DA RADIAÇÃO SOLAR LÍQUIDA VS. INCLINAÇÃO	Adm
WUE	EFICIÊNCIA NO USO DE ÁGUA	
RAD	RADIAÇÃO	
RadInt	RADIAÇÃO INTERCEPTADA	MJ m <sup>-2</sup> month <sup>-1</sup>
rAge	IDADE RELATIVA PARA FAGE =0.5	Adm
Rain	PRECIPITAÇÃO	mm month <sup>-1</sup>
RainIntcptn	PRECIPITAÇÃO INTERCEPTADA	mm
RelAge	IDADE REAL	
rhoAir	DENSIDADE DO AR	
rhoMax	DENSIDADE BÁSICA MÁXIMA PARA ÁRVORES VELHAS	t m <sup>-3</sup>
rhoMin	DENSIDADE BÁSICA MÍNIMA PARA ÁRVORES JOVENS	t m <sup>-3</sup>
Roots	RAÍZES	
rttOver	TAXA MÉDIA MENSAL DE RENOVAÇÃO DE RAIZ	month <sup>-1</sup>
SLA	ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup>
SLA0	ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA PARA IDADE 0	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup>
SLA1	ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA PARA FOLHAS MADURAS	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup>
SolarRAD	RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>
StandAge	IDADE-PADRÃO	yr
StandVol	VOLUME-PADRÃO (EXCLUINDO GALHO E CASCA)	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
Stem	TRONCO	
StemConst	RELAÇÃO CONSTANTE MASSA DE CAULE VS. DIÂMETRO	
stemN0	NÚMERO DE CAULE INICIAL	trees ha <sup>-1</sup>
StemPower	EFEITO DA RELAÇÃO MASSA DE CAULE VS. DIÂMETRO	
Stocking	ESTOQUE DE MADEIRA	
SW	ÁGUA NO SOLO	
SWConst	DÉFICIT DE PROPORÇÃO DE UMIDADE PARA F = 0.5	Adm
SWPower	EFEITO DO DÉFICIT DE PROPORÇÃO DE UMIDADE	Adm
T	TEMPERATURA	°C
Tav	TEMPERATURA MÉDIA	°C
tBB1	IDADE EM QUE FRACBB = (FRACBB + FRACBB1)/2	yr
tgammaF	IDADE QUE A SERAPILHEIRA TEM SEU VALOR MÉDIO	month
tgammaN	IDADE EM QUE A TAXA DE MORTALIDADE TEM SEU VALOR MÉDIO	yr
Tmax	TEMPERATURA MÁXIMA PARA CRESCIMENTO	
Tmin	TEMPERATURA MÍNIMA PARA CRESCIMENTO	
Tn	TEMPERATURA MÉDIA	
Topt	TEMPERATURA ÓTIMA PARA CRESCIMENTO	
TotalW	BIOMASSA TOTAL	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
Transp	TRANSPIRAÇÃO DO DOSSEL	mm
tRho	IDADE EM QUE RHO = (RHOMIN +RHOMAX)/2	yr
tSLA	IDADE EM QUE A ÁREA FOLIAR ESPECÍFICA = (SLA + SLA1)/2	yr
Tx	TEMPERATURA MÁXIMA	
VPD	DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR	mbar
VPDconv	CONVERSÃO DO DPV	
VPDn	DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR MÍNIMO	
VPDx	DÉFICIT DE PRESSÃO DE VAPOR MÁXIMO	
WF	BIOMASSA DE FOLHA	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
WFi	BIOMASSA INICIAL DE FOLHA	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
WRi	BIOMASSA INICIAL DE RAIZ	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
WS	BIOMASSA DE TRONCO	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
WSi	BIOMASSA INICIAL DE TRONCO	t <sub>DM</sub> ha <sup>-1</sup>
Wsmax	BIOMASSA MÁXIMA DE CAULE	kg tree <sup>-1</sup>
YearPlanted	ANO PLANTADO	

### 3.3. Dados Utilizados e Período de Estudo

Os dados meteorológicos utilizados foram: temperatura média do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento ( $\text{ms}^{-1}$ ), radiação solar global ( $\text{MJm}^{-2}$ ) e precipitação pluvial (mm) e coletados em escala horária em estações meteorológicas automáticas, localizadas nas próprias localidades (Quadro 2).

Os equipamentos para medição meteorológica foram instalados nas torres de observação, com aproximadamente 30 m de altura, sendo que os sensores foram a aproximadamente 25 m, com exceção da Estação Rio Doce, que foi instalada em uma torre de 10 m, onde o sensor de umidade do ar está a 2 m e o de velocidade do vento, a 10 m.

Em todos os locais estudados os dados meteorológicos foram coletados de abril de 2000 a abril de 2006. Os dados meteorológicos faltantes foram preenchidos com os dados da estação mais próxima, levando em consideração a média e o desvio padrão para a série.

### 3.4. Determinação do Incremento Médio Anual

Para calibração do modelo modificado foi utilizada a base de dados de inventário florestal que continha informações do mês e ano de plantio, diâmetro à altura do peito (cm) e altura das árvores (m). Com base em modelos biométricos, que foram calibrados para a realidade das áreas de plantio, e que têm como variáveis de entrada o Diâmetro à Altura do Peito (DAP) e a altura das árvores, estimou-se o Incremento Médio Anual (IMA) para cada parcela. Para tanto, selecionou-se 28 árvores ao acaso, as quais tiveram seu Diâmetro a Altura do Peito (DAP) e alturas medidos. Com esses valores estimaram-se a altura e DAP das demais árvores utilizando-se modelos biométricos ajustados pela própria empresa.

Para estimar a altura das árvores, foi usado o modelo descrito a seguir:

$$\text{LnHT} = b_0 + \frac{b_1}{\text{DAP}} + b_2 * \text{LnHd} + \xi \quad \text{Eq. 9}$$

em que,

HT = altura da árvore que não foi mensurada (m);

$b_0, b_1, b_2$  = coeficientes determinados por análise de regressão em função do DAP,

Hd e altura observada;

DAP = diâmetro a altura do peito (cm);

Hd = média da altura das árvores dominantes da parcela; e

$\xi$  = erro aleatório.

Para estimar o incremento médio anual (IMA) foi usado o modelo biométrico descrito a seguir:

$$\text{LnVarv} = \beta_0 + \beta_1 \text{LnDAP} + \beta_2 * \text{LnHT} + \xi \quad \text{Eq. 10}$$

em que

$\text{Varv}$  = volume de árvore ( $\text{m}^3$ );

$\beta_0, \beta_1, \beta_2$  = coeficientes para cada localidade estudada, obtidos com dados de campo da própria empresa (Quadro 4);

DAP = diâmetro à altura do peito (cm);

HT = altura da árvore (m) – estimada pela equação LnHT (Eq.9); e

$\xi$  = erro aleatório.

O volume de tronco, por hectare foi calculado por:

$$\frac{V}{ha} = \frac{\Sigma \text{Varv} * 10000}{\text{Área}_{da}_{parcela}} \quad (\text{m}^3) \quad \text{Eq. 11}$$

e o volume médio por

$$\text{IMA} = \frac{\frac{V}{ha}}{\text{Idade}(\text{anos})} \quad \text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1} \quad \text{Eq. 12}$$

Quadro 4\_ Valores dos coeficientes  $\beta_0, \beta_1, \beta_2$  de cada localidade estudada

Região	$\beta_0$	$\beta_1$	$\beta_2$
Rio Doce	-10,143457	1,856938	1,095924
Virginópolis	-10,373936	1,809317	1,199962
Santa Bárbara	-10,156326	1,870474	1,079379
Cocais	-10,142538	1,836628	1,106458

### 3.5. Estimativa da Transpiração

Para a estimativa da transpiração foi utilizada a equação de Penman – Monteith (1965), em escala horária, a qual inclui os componentes aerodinâmicos e do balanço de energia.

Foi feita a correção da radiação solar global, ou seja, a radiação foi corrigida em função da inclinação e do azimute do terreno.

Com relação à condutância estomática superficial, foi feita a correção em função da variação da radiação solar, do déficit de pressão de vapor e da temperatura do ar, de acordo com a equação (30), desenvolvida por Lessa (2007a), para a mesma região do estudo.

Como no Modelo 3-PG o DPV é tratado somente em função da temperatura do ar, foi feita uma correção de acordo com Allen et al. (1998), em que o DPV é tratado em função da umidade relativa do ar e da temperatura do ar, equação (21).

O coeficiente de reflexão (albedo) também foi contemplado nessa simulação da evapotranspiração, sendo corrigido em função do ângulo zenital, equação (54).

$$\lambda E = \frac{\Delta(R_n - G) + M' \rho_a C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma(1 + r_d / r_a)} \quad \text{Eq. 13}$$

em que:

$E$  = transpiração do dossel ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$\lambda$  = fluxo de calor latente de evaporação ( $\text{kJ m}^2 \text{s}^{-1}$ );

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de saturação de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$R_n$  = saldo de radiação ( $\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );

$G$  = fluxo de calor no solo ( $\text{kJ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );

$M'$  = fator de conversão horário = 3600;

$\rho_a$  = densidade absoluta do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );

$C_p$  = calor específico a pressão constante,  $1.013 \cdot 10^{-3} \text{ MJ Kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$ ;

$(e_s - e_a)$  = déficit de pressão de vapor ( $\text{kPa}$ );

$r_a$  = resistência aerodinâmica ( $\text{s m}^{-1}$ );

$r_d$  = resistência do dossel da planta ( $\text{s m}^{-1}$ ).

Nesse modelo a condutância estomática é utilizada para estabelecer a resistência da planta em perder água na transpiração.

$$\Delta = \frac{4098 \left[ 0,6108 \exp\left(\frac{17,27T}{T + 237,3}\right) \right]}{(T + 237,3)^2} \quad \text{Eq. 14}$$

$T$  = temperatura média do ar;

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ).

$$\rho_a = \frac{1000P}{T_{Kv}R} = 3,486 \frac{P}{T_{Kv}} \quad \text{Eq. 15}$$

$\rho_a$  = densidade absoluta do ar ( $\text{kg m}^{-3}$ ); e

R = constante específica do gás =  $287 \text{ (J kg}^{-1} \text{ K}^{-1})$ .

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065Z'}{293} \right)^{5,26} \quad \text{Eq. 16}$$

P = pressão atmosférica;

Z' = altitude.

$$T_{Kv} = T_K * \left( 1 - 0,378 \frac{e_a}{P} \right)^{-1} \quad \text{Eq. 17}$$

$T_{Kv}$  = temperatura virtual (K); e

$T_K$  = temperatura absoluta (K).

$$T_K = 1,01 (T + 273) = T + 273,16 \quad \text{Eq. 18}$$

$$e_a = e_s * \left( \frac{RH_{mean}}{100} \right) \quad \text{Eq. 19}$$

$e_a$  = pressão atual de vapor (kPa); e

$RH_{mean}$  = umidade relativa média.

$$e_s(T) = 0,6108 \exp \left( \frac{17,27T}{T + 237,3} \right) \quad \text{Eq. 20}$$

$e_s$  = pressão de vapor de saturação (kPa).

$$DPV = e_s - e_a \quad \text{Eq. 21}$$

DPV = déficit de pressão de vapor (kPa).

$$\gamma = \frac{C_p P}{\varepsilon \lambda} * 10^{-3} = 0,00163 \frac{P}{\lambda} \quad \text{Eq. 22}$$

em que:

$\lambda$  = fluxo de calor latente de evaporação ( $\text{kJ m}^2 \text{ s}^{-1}$ );

$\gamma$  = coeficiente psicrométrico [ $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ ];

P = pressão atmosférica [kPa];

$C_p$  = calor específico a pressão constante,  $1,013 * 10^{-3} \text{ [MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}]$ ; e

$\varepsilon$  = relação peso molecular de vapor de água/ar seco = 0,622.

$$\lambda = 2,501 - (2,361 * 10^{-3})T \text{ (KPa)} \quad \text{Eq. 23}$$

$$r_a = \frac{\ln \left[ \frac{Z_m - d_v}{Z_{0m}} \right] \ln \left[ \frac{Z_h - d_v}{Z_{0h}} \right]}{k^2 U_z} \quad \text{Eq. 24}$$

$r_a$  = resistência aerodinâmica ( $s \text{ m}^{-1}$ ); e

$Z_m$  = altura de medição da velocidade do vento.

$$d_v = \left( \frac{2}{3} \right) Hc \quad \text{Eq. 25}$$

$Hc$  = altura da cultura (m).

$$Hc = 1,5 * d_v \quad \text{Eq. 26}$$

$$Z_{0m} = 0,123 Hc \quad \text{Eq. 27}$$

$$Z_{0h} = 0,1 Z_{0m} \quad \text{Eq. 28}$$

em que:

$d_v$  = deslocamento do plano zero do perfil do vento (m);

$Z_{0m}$  = parâmetro de rugosidade para “momentum” (m);

$k$  = constante de von Kármán (0,41);

$U_z$  = velocidade do vento a uma altura  $Z$  ( $\text{m s}^{-1}$ );

$Z_h$  = altura de medição da umidade do ar (25 m); e

$Z_{0h}$  = parâmetro de rugosidade para calor sensível e vapor d'água (m).

$$r_d = \frac{r_e}{IAF} \quad \text{Eq. 29}$$

$r_d$  = resistência do dossel da planta ( $s \text{ m}^{-1}$ ).

$r_e$  = resistência estomática ( $s \text{ m}^{-2}$ ); e

$IAF$  = índice de área foliar ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$ ).

Para o cálculo da resistência estomática ( $r_e$ ) foi utilizada a equação desenvolvida por Lessa (2007a):

$$r_e = 1694.6 * \left( \frac{(DPV * T)}{Rgi * \left( \frac{1000000}{3600} \right)} \right)^{1.0568} \quad \text{Eq. 30}$$

ou



$$r_e = \frac{r_e}{K_s} \quad \text{Eq. 31}$$

$r_e$  = resistência estomática com a correção do  $K_s$  ( $s \text{ m}^{-2}$ );

$$K_s = \frac{\log(\text{Armi} + 1,0)}{\log(\text{CAD} + 1,0)} \quad \text{Eq. 32}$$

$K_s$  = coeficiente de umidade do solo (adimensional);

$\text{ARM}_i$  = armazenamento de água no dia  $i$  (mm), equação 62;

$\text{CAD}$  = capacidade de água disponível no solo em mm, equação 63;

$\text{Ln}$  = logaritmo neperiano;

$\text{Rgi}$  = irradiância solar global incidente corrigida (difusa e direta) em  $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ , equação 50.

Irradiância Solar Incidente no Topo da Atmosfera ( $R_0$ ) em  $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ :

$$R_0 = \frac{12(60)}{\pi} G_{SC} d_r [(\omega_2 - \omega_1) \text{sen}(\phi) \text{sen}(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) (\text{sen}(\omega_2) - \text{sen}(\omega_1))] \quad \text{Eq. 33}$$

$G_{SC}$  = constante solar =  $0,0820 \text{ MJ m}^{-2}\text{min}^{-1}$ ;

$\delta$  = declinação solar (rad), equação 53; e

$\phi$  = latitude (rad).

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad \text{Eq. 34}$$

$d_r$  = distância relativa terra – sol (rad); e

$J$  = número do dia do ano.

$$\omega_1 = \omega - \frac{\pi * t_1}{24} \quad \text{Eq. 35}$$

$$\omega_2 = \omega + \frac{\pi * t_1}{24} \quad \text{Eq. 36}$$

$t_1$  = duração do período de cálculo (hora), ou seja, 1 para período de hora em hora ou 0,5 para um período de 30 min.;

$\omega_1$  = ângulo do tempo solar para o começo do período (rad), ângulo horário; e

$\omega_2$  = ângulo do tempo solar para o fim do período (rad), ângulo horário;

$t_1 = 1$ .

O ângulo horário ( $\omega$ ) é o ângulo entre a posição do Sol e o meridiano local. Devido ao movimento de rotação da Terra, que completa uma volta em 24 h, esse ângulo varia  $15^\circ$  a cada 60 min. Por convenção, é negativo no período da manhã e positivo no período da tarde, sendo numericamente igual a zero, ao meio dia.

$$\omega = \frac{\pi}{12} [(T_1 + 0,06667(L_Z - L_m) + S_c) - 12] \quad \text{Eq. 37}$$

$$T_1 = (\text{hora} + 0,5)$$

$T_1$  = tempo de relógio-padrão ao ponto central do período [hora]. Por exemplo, para um período entre 14 e 15 h,  $t = 14,5$ ;

$\omega$  = ângulo do tempo solar para o ponto central do período de hora em hora ou menor (rad) (ângulo horário); e

$L_Z$  = longitude do fuso local (graus).

$$L_Z = -(L_m / 15,0) * 15 \quad \text{Eq. 38}$$

$L_m$  = longitude local em graus (graus);

$$S_c = 0,1645 \text{sen}(2b) - 0,1255 \text{cos}(b) - 0,025 \text{sen}(b) \quad \text{Eq. 39}$$

$S_c$  = correção para o tempo solar (hora).

$$b = \frac{2\pi(J - 81)}{364} \quad \text{Eq. 40}$$

em que:

$J$  = número do dia do ano; e

$b$  = equação de ajuste.

A correção da variação da radiação solar global, durante o dia em função da inclinação e da face de exposição do terreno, foi feita em função do ângulo vertical de incidência dos raios solares diretos ( $\theta$ ) (IQBAL, 1983), em que:

$$\cos \theta = A \cos \omega_1 + B \text{sen} \omega_1 + C \quad \text{Eq. 41}$$

$$A = \cos i \cdot \cos \phi \cdot \cos \delta + \text{sen} i \cdot \cos A_z \cdot \text{sen} \phi \cdot \cos \delta \quad \text{Eq. 42}$$

$$B = \text{sen} i \cdot \cos \delta \cdot \text{sen} A_z \quad \text{Eq. 43}$$

$$C = \cos i \cdot \text{sen} \delta \cdot \text{sen} \phi - \text{sen} i \cdot \cos A_z \cdot \text{sen} \delta \cdot \cos \phi \quad \text{Eq. 44}$$

em que,

$\delta$  = declinação solar (equação 53);

$\phi$  = latitude em radianos;  
 $\theta$  = ângulo de incidência dos raios solares diretos (graus);  
 $\omega_1$  = ângulo horário (graus);  
A, B e C = parâmetros de simplificação da equação;  
 $A_z$  = azimute ou orientação da superfície (rad); e  
i = inclinação da superfície (graus).

$$A_z = A_z(\text{graus}) * \left( \frac{PI}{180} \right) \quad \text{Eq. 45}$$

Para se estimar a radiação solar difusa horária utilizou-se o modelo matemático proposto por Lima (1996), desenvolvido para o Município de Viçosa, MG. Esse modelo possui uma combinação de equações lineares e não-lineares cúbicas, em que são considerados diferentes intervalos da relação radiação global e radiação no topo da atmosfera ( $R_0$ ) (FACCO, 2004).

Determinação da irradiância solar difusa e direta:

$$I_d = M * R_g, M_T = \frac{R_g}{R_0} \quad \text{Eq. 46}$$

$$M = 1 - 0,221 * M_T, \text{ para } M_T \leq 0,20 \quad \text{Eq. 47}$$

$$M = (0,798 + 2,442M_T - 9,634M_T^2 + 6,9381M_T^3), \text{ para } 0,20 > M_T \leq 0,80 \quad \text{Eq. 48}$$

$$M = 0,135, \text{ para } M_T > 0,80 \quad \text{Eq. 49}$$

em que:

$I_d$  = irradiância solar difusa sobre uma superfície plana ( $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ );

M = razão entre  $i_d$  e  $R_g$  (adimensional);

$M_T$  = razão entre  $R_g$  e  $R_0$  (adimensional); e

$R_g$  = irradiância solar global ( $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ).

$$Rgi = (Dn * \text{Cos}\theta) + (I_d * \text{Cos}\left(\frac{i}{2}\right) * \text{Cos}\left(\frac{i}{2}\right)) + ((Dn * \text{Cos}Z + I_d) * \alpha * \text{sen}\left(\frac{i}{2}\right) * \text{sen}\left(\frac{i}{2}\right)) \quad \text{Eq. 50}$$

em que:

$Rgi$  = irradiância solar global incidente corrigida (difusa e direta) em  $\text{MJm}^{-2}\text{h}^{-1}$ ;

i = inclinação da superfície;

$\theta$  = ângulo de incidência dos raios solares diretos (graus); e

$\alpha$  = coeficiente de reflexão (albedo), equação 54.

$$Dn = \frac{I_d}{\cos(Z)} \quad \text{Eq. 51}$$

em que:

Dn = irradiação solar direta normal à superfície (direta corrigida); e

Z = ângulo zenital.

$$\cos(Z) = \sin(\phi) * \sin(\delta) + \cos(\phi) * \cos(\delta) * \cos(\omega_1) \quad \text{Eq. 52}$$

em que:

$\phi$  = latitude (rad);

$\delta$  = declinação solar (rad);

$\phi = (\phi * \pi)/180$  (conversão da latitude para radianos); e

$\omega_1$  = ângulo do tempo solar para o começo do período (rad).

A declinação solar, para determinado dia do ano, pode ser calculada através da equação:

$$\delta = (23,45 * \sin(\frac{360}{365} (284 + J))) * \frac{\pi}{180} \quad \text{Eq. 53}$$

J = número do dia do ano;

$$\alpha = (0,1715 * \exp(0,0056 * \cos(Z) * \frac{180}{\pi})) \quad \text{Eq. 54}$$

$$RSW = Rgi * (\frac{1000000}{3600}) \quad \text{Eq. 55}$$

RSW = irradiância solar global incidente ( $\text{W m}^{-2}$ ).

$$Rns = (1,0 - \alpha) * Rgi \quad \text{Eq. 56}$$

Rns = saldo de radiação de ondas curtas ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ).

O saldo de radiação de ondas longas foi estimado a partir de uma equação de regressão, que foi desenvolvida utilizando-se dados de irradiância solar global incidente coletados na própria região de estudo:

$$RnlW = -2 * 10^{-5} * RSW^2 - 0,0272 * RSW - 1,3458 \quad \text{Eq. 57}$$

RnlW = correção do saldo de radiação de ondas longas ( $\text{W m}^{-2}$ ).

$$Rnl = RnlW * \left( \frac{3600}{1000000} \right) \quad \text{Eq. 58}$$

Rnl = saldo de radiação de ondas longas em ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

$$R_n = R_{ns} + R_{nl} \quad \text{Eq. 59}$$

$R_n$  = balanço ou saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ).

If hora < 5 Or hora >= 18 Then

$$G = 0,1 * R_n \quad \text{Eq. 60}$$

else

$$G = (0,1131 * RSW + 2,3949) * \left(\frac{3600}{1000000}\right) (\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}) \quad \text{Eq. 61}$$

$G$  = fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ )

### 3.6. Balanço Hídrico

Para a simulação do crescimento de plantios de eucalipto foi implementado um submodelo de balanço hídrico, o qual foi acoplado ao modelo 3-PG. O submodelo de balanço hídrico implementado e acoplado ao 3-PG está descrito a seguir.

O balanço de água foi calculado para a camada de solo que contém as raízes, cujo volume varia em função do estágio de crescimento das plantas. Definida a profundidade do sistema radicular, têm-se o volume de controle e a quantidade máxima de água possível de ser retirada para as plantas. Nesse volume de controle, a variação da quantidade de água armazenada no solo será dada pela contabilização da entrada e saída de água, isto é:

$$ARM_i = ARM_{i-1} + P_{th} - ICV - PPerc - E \quad \text{Eq. 62}$$

em que:

$ARM_i$  = armazenamento de água no dia  $i$  (mm);

$ARM_{i-1}$  = armazenamento de água no dia anterior (mm);

$P_{th}$  = precipitação pluvial total no dia  $i$  (mm);

$ICV$  = total interceptado de água da chuva pelo dossel e pela serapilheira no dia  $i$  (mm);

$PPerc$  = percolação na camada útil do solo onde se encontram as raízes no dia  $i$  (mm); e

$E$  = evapotranspiração no dia  $i$  (mm).

O cálculo do balanço hídrico foi iniciado a partir do mês em que a precipitação acumulada era suficiente para atingir a capacidade máxima de água disponível no solo.

O modelo foi alimentado com dados horários de uma estação meteorológica automática.

Segundo Salassier (2005), a capacidade total do solo em armazenar água, seja proveniente de chuva ou de irrigação, deve ser calculada até a profundidade do solo correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, ou seja:

$$CAD = DTA * PSR \quad \text{Eq. 63}$$

em que:

CAD = capacidade de água disponível no solo em mm/m;  
 DTA = disponibilidade total de água, em mm/m de solo; e  
 PSR = profundidade efetiva do sistema radicular, em cm.

em que:

$$DTA = \left( \frac{CCamp - PmPer}{10} * da \right) \quad \text{Eq. 64}$$

em que:

CCamp = capacidade de campo, % em peso;  
 PmPer = ponto de murchamento, % em peso; e  
 da = densidade aparente do solo, g cm<sup>-3</sup>.

Os valores da capacidade de campo, do ponto de murchamento e da densidade do solo foram determinados em amostras de solo nas áreas estudadas (Quadro 6A-Apêndice).

A profundidade efetiva do sistema radicular (PSR) deve considerar uma secção de solo em que, pelo menos, 80% do sistema radicular da cultura estejam contidos nela. Ela depende da cultura e da profundidade do solo na área (SALASSIER, 2005).

A profundidade efetiva do sistema radicular foi estimada de acordo com FACCO (2004):

$$PSR = 287,31 * (1,0 - \exp(-0,19483 * idade))^{1,0219} \quad \text{Eq. 65}$$

Segundo Lima e Leopoldo (1999), por meio da interceptação, a cobertura florestal causa uma diminuição no total de água de chuva que atinge o solo, podendo afetar, conseqüentemente, a dinâmica do escoamento superficial que atinge a rede hidrológica, e o processo de infiltração que favorece os lençóis subterrâneos.

A interceptação da cobertura vegetal foi estimada de acordo com LIMA (1996a):

$$ICV = Pth * 0,12 \quad \text{Eq. 66}$$

A percolação de água foi estimada de acordo com a equação:

$$PPerc = ARM_{i-1} - CAD \quad \text{Eq. 67}$$

em que:

ICV = interceptação da cobertura vegetal;

Pth = precipitação pluvial;

Pperc = percolação profunda; e

ARM<sub>i-1</sub> = o armazenamento inicial foi igual ao DTA, ou seja, ARM<sub>i-1</sub> = DTA.

### 3.7. Simulações Realizadas

Neste estudo foram feitas simulações das três faces de exposição do terreno (azimute). Foram escolhidas as faces voltadas para o Norte (N), para o Sul (S) e plana (Leste-Oeste). Foram consideradas duas classes de inclinação do terreno (0-15° e >15°). Em estudos realizados na mesma região (FACCO, 2004) verificou diferença significativa na incidência de radiação, com inclinações entre 0 e 15 e acima de 15°.

As simulações de incremento médio anual (IMA) realizadas nas regiões estudadas para os plantios foram comparadas com dados de inventário florestal da Empresa Cenibra S.A.

As simulações foram realizadas com o 3-PG original (LANDSBERG; WARING, 1997) e com o modelo parametrizado neste estudo, que incorporou o balanço Hídrico (BH), coeficiente de umidade do solo (Ks), Radiação Solar (RS) e Evapotranspiração (ET).

Para efetuar o ajuste do modelo original e proposto em relação ao observado, foram excluídos dados espúrios. Para identificar esses dados, calculou-se o desvio-padrão dos dados simulados em ambos os modelos, e, em seguida calculou-se a diferença entre os dados simulados e os observados; diferenças maiores que o desvio-padrão indicaram dados espúrios.

Inicialmente foi feita uma parametrização do modelo de crescimento proposto, segundo as características ecofisiológicas de desenvolvimento dos plantios para cada região. A parametrização dos modelos original e proposto foi a mesma proposta por Silva (2006), que trabalhou nas mesmas regiões, excetuando-se o valor da respiração que é a relação entre a produção primária líquida (PPL) e a produção primária bruta (PPB), que foi obtida com a realização de uma análise de sensibilidade feita de acordo com valores obtidos de Landsberg e Waring (1997).

Propôs-se alteração na taxa de respiração por ser esta altamente dependente da condição térmica do ambiente e pelo fato de as regiões estudadas serem bastante diferentes nesse aspecto.

Para testar a influência da irradiância solar global nas superfícies inclinadas, foram escolhidos dois projetos em duas localidades distintas, sendo um em São José, na região de Cocais, a 1.270 m de altitude, e outro em Bião, em Rio Doce, a 240 m de altitude, com plantios homogêneos, de mesma fertilidade do solo e material genético, e onde fosse possível ter diferentes faces de exposição em uma mesma condição edafoclimática.

Para verificar o ajuste dos modelos original e proposto, foi feita a comparação com dados obtidos em inventários florestais nas quatro regiões estudadas: Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.



## **4.0. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **4.1 Caracterização Edafoclimática das Regiões do Estudo**

Constatou-se a variação da condição térmica ambiental entre as quatro regiões estudadas, decorrentes principalmente da diferença de altitude do local (Figura 4). As variações da temperatura do ar com a altitude podem ser explicadas pelo gradiente adiabático seco, em que, com o aumento de altitude, ocorre diminuição na temperatura média do ar, devido à descompressão adiabática a uma taxa de 0,6°C de resfriamento para cada 100 m de elevação.

Rio Doce, por se localizar a 240 m de altitude apresenta as maiores temperaturas médias mensais (20 °C), enquanto Cocais, com altitude média de 1.273 m, apresenta a menor média mensal (17,5 °C). Santa Bárbara e Virginópolis, com altitudes intermediárias de 847 m e 1.015 m, apresentam temperaturas médias mensais de 22,4 °C e 22,3 °C, respectivamente.

Cocais e Virginópolis apresentaram as maiores amplitudes térmicas médias mensais, com valor de 7,6 e 9,2 °C, respectivamente. Apesar de as temperaturas máximas e mínimas dessas localidades serem menores em relação às demais, a maior altitude determina que o resfriamento noturno seja bastante pronunciado, fazendo que o valor da amplitude seja amplificado. Assim, pode-se afirmar que Rio Doce e Santa Bárbara, com destaque para a primeira localidade, apresentam menores variações da temperatura em torno da média diária (menor resfriamento noturno), enquanto Cocais e Virginópolis apresentaram as maiores variações.

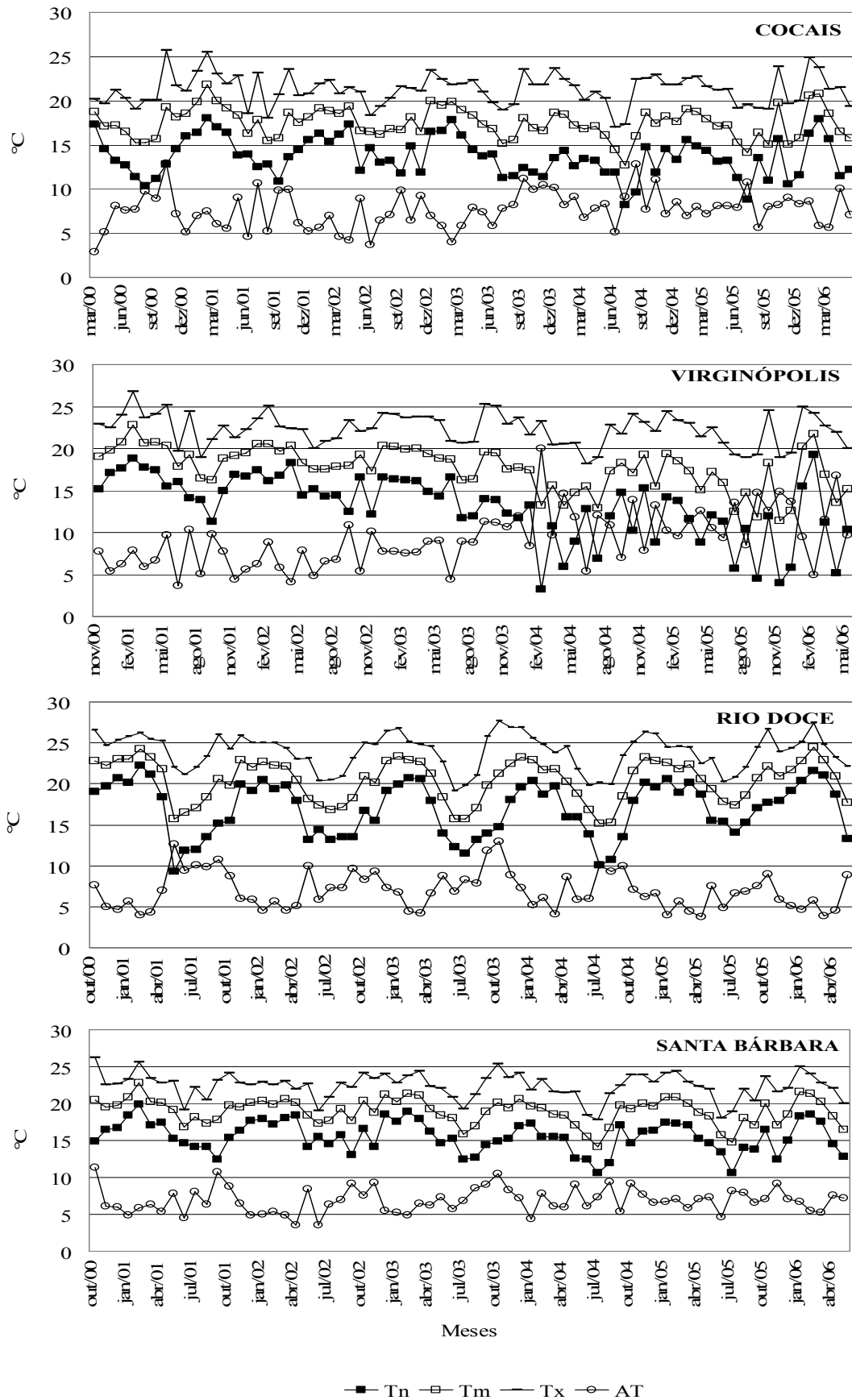


Figura 4\_ Médias mensais de temperatura mínima (Tn), média (Tm) e máxima (Tx) do ar e amplitude térmica (AT) das regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.

Na região de Cocais o período correspondente ao trimestre de junho a agosto é o menos chuvoso, coincidindo com o inverno (Figura 5). Os meses com maior ocorrência de chuva são os de outubro a março. A região de Cocais teve uma média anual de chuva no período analisado em torno de 1.267 mm. O mesmo modelo de distribuição de chuva pode ser observado nas outras localidades, porém com uma variação do total anual médio que em Rio Doce foi de 1.366 mm, em Santa Bárbara de 1.465 mm e em Virginópolis de 1.200 mm.

As localidades com maior altitude e, conseqüentemente, relevo mais ondulado, como é o caso de Cocais e Virginópolis, apresentam menores valores médios de irradiância solar global (Figura 5). Esse fato está relacionado à maior frequência de presença de nebulosidade, ocasionada pela advecção do ar sob cadeia de montanhas, típicas da região. As localidades de Rio Doce e Santa Bárbara, com menor elevação, possuem menor formação de nuvens orográficas. Os totais de chuva não explicam, por si só, a menor irradiância solar, já que os valores de precipitação entre as áreas mais altas não diferem muito nesse sentido. Isso implica que nebulosidade orográfica nem sempre é densa o suficiente para originar chuva.

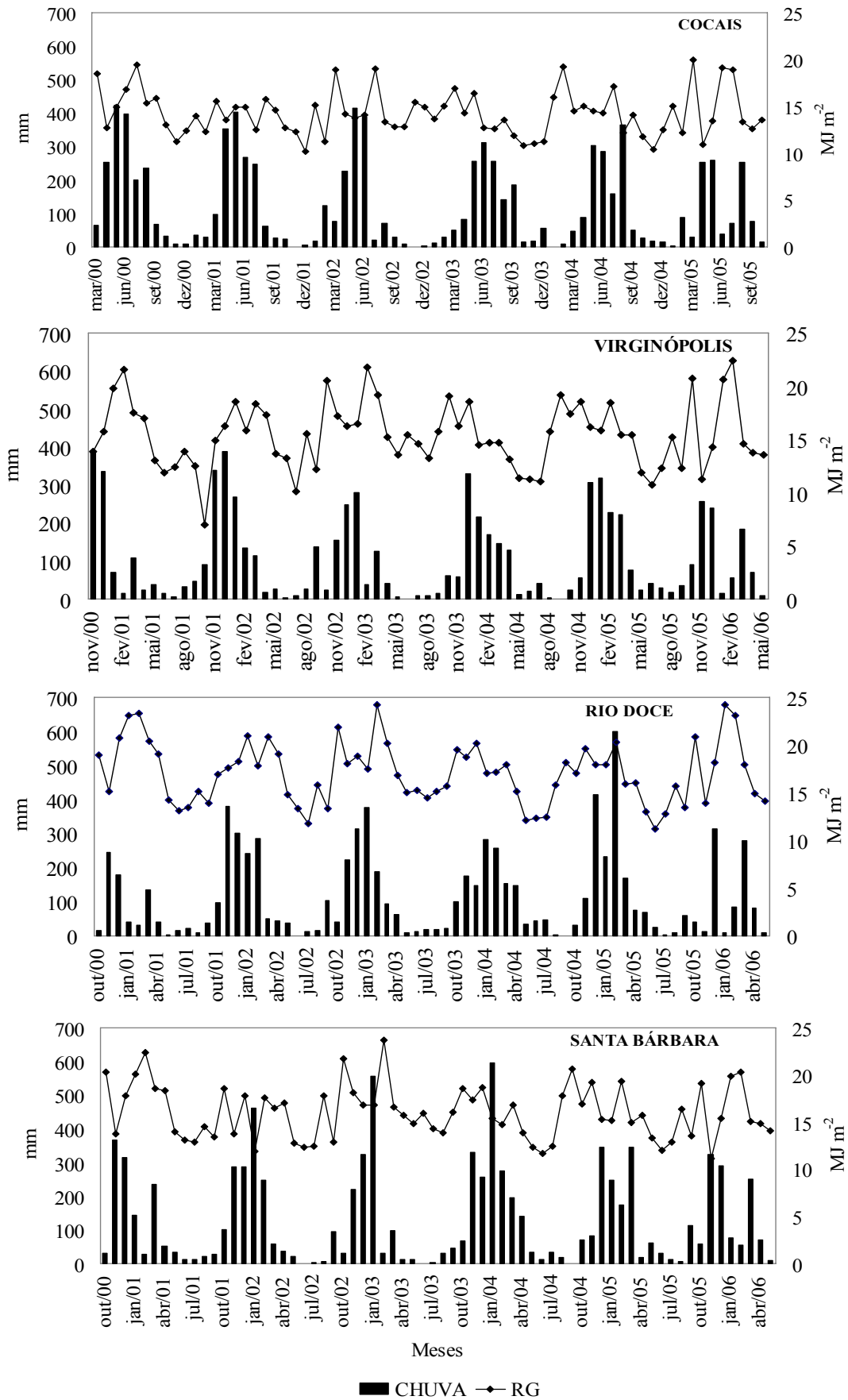


Figura 5\_ Totais mensais de chuva e média mensal da irradiância solar global das regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.

A região de Rio Doce foi a que apresentou o maior déficit de pressão de vapor (DPV), em razão das maiores temperaturas do ar (Figura 6). Ao comparar as regiões, verificou-se que o DPV tem o mesmo comportamento das temperaturas, ou seja, quanto maior a temperatura da localidade, maior o DPV, devido à variação exponencial da pressão de saturação de vapor de água com o aumento da temperatura do ar. Dessa forma, Rio Doce tem, em média, um DPV de 7,57 mBar, seguido por Santa Bárbara, com um DPV médio de 6,77 mBar. Virginópolis, com 4,96 mBar e Cocais, com 4,34 mBar, apresentam menores valores de DPV por serem regiões mais altas e terem menores temperaturas.

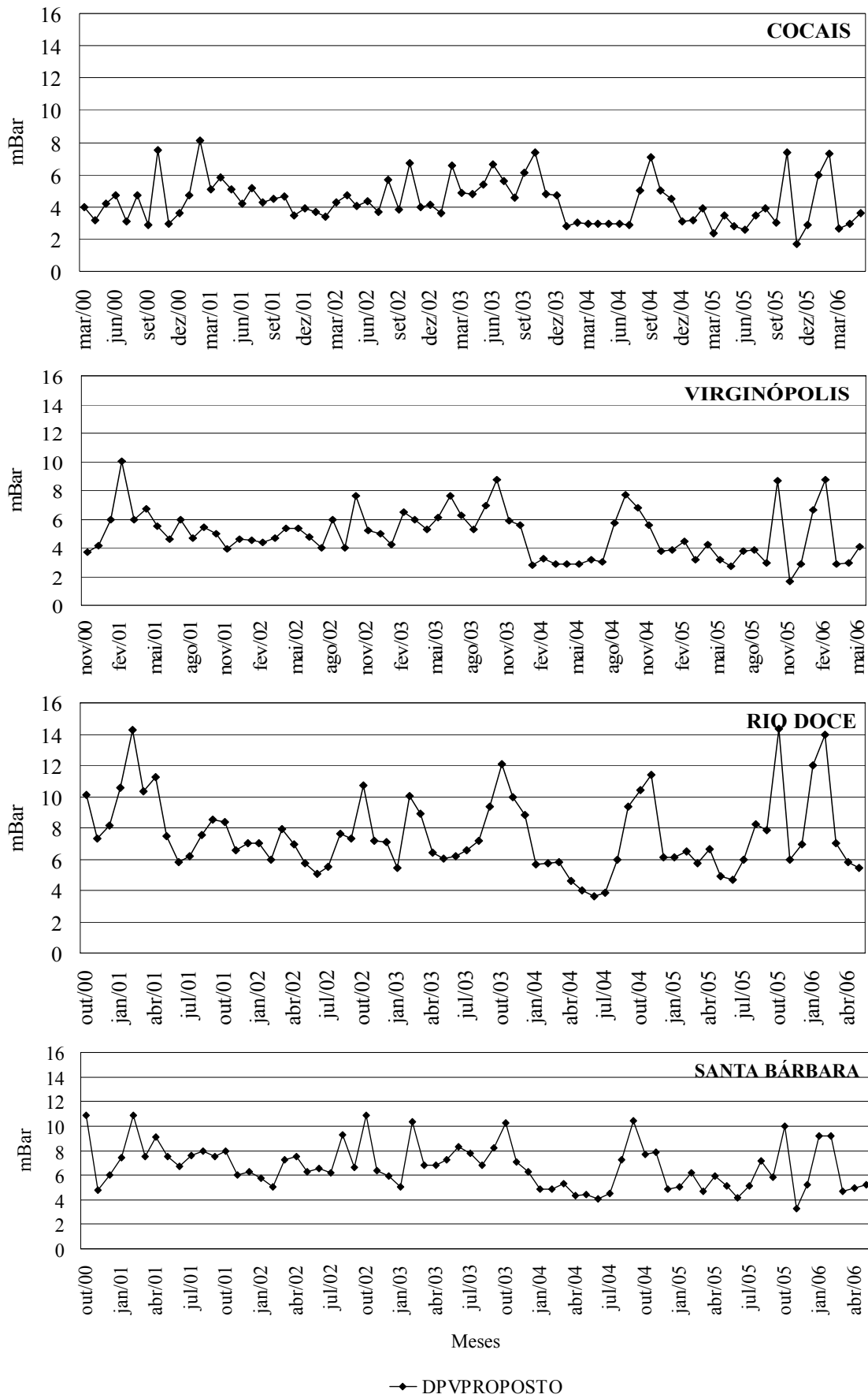


Figura 6 Média mensal de DPV (déficit de pressão de vapor), estimada pelo modelo proposto, das regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.

## 4.2 Efeito da Exposição na Irradiância Solar Global Estimada

A variação da irradiância solar mensal pelo modelo original e pelo modelo proposto, cuja irradiância é corrigida em função da inclinação do terreno e do azimute, pode ser vista nas Figuras 7 a 9, em que a Figura 7 representa os projetos cujas faces estão voltadas para o sul; a Figura 8 as de face plana; e a Figura 9, com a face voltada para o norte.

Observa-se a influência da exposição do terreno na intensidade de radiação durante quase todo o ano, ao se comparar a dada pelo modelo proposto e a pelo modelo original.

Devido à localização geográfica da região estudada, o sol se posiciona mais ao norte em boa parte do ano, entre 25 de janeiro e 15 de novembro, ficando posicionado ao sul apenas no período de 16 de novembro a 24 de janeiro.

Ao analisar as figuras correspondentes à exposição sul (Figura 7), o modelo proposto estimou valores de radiação em geral mais baixos que o modelo original, o que se explica pela correção da radiação, visto que o sol se posiciona mais ao norte. Essa diferença foi maior para Cocais, Virginópolis e Santa Bárbara e quase inexistente para Rio Doce. O contrário ocorreu quando a face de exposição estava voltada para o norte, ou seja, maior quantidade de radiação (Figura 9). Já as superfícies com as faces voltadas para leste e oeste tendem a compensar o ganho de energia, sendo que faces voltadas para leste aumentam o ganho de radiação global no período da manhã e diminuem a tarde, tendendo a se comportar como superfícies planas, o mesmo ocorrendo para superfícies com face de exposição a oeste de forma inversa (Figura 8).

Scolar (2003), em estudos em Botucatu das superfícies horizontal e inclinada com a face voltada para o hemisfério sul, observou variação anual da energia recebida pela superfície horizontal e pouca variação anual de energia recebida pela superfície inclinada. Ressalta-se que a irradiância na superfície horizontal foi maior do que a recebida pela superfície inclinada durante os meses de verão e da primavera e menor durante os meses de outono e inverno, estando a maior intensidade de radiação na rampa inclinada nos períodos de outono e inverno relacionada com a inclinação da rampa e também com a declinação solar. Albizzati (2001), em estudos em Santa Fé (Argentina), observou que superfícies inclinadas com a face voltada para o norte receberam maior quantidade de irradiância solar global do que superfícies na horizontal. Estes dois estudos corroboram o que foi encontrado neste trabalho.

Outro fator importante na disponibilidade de energia é o sombreamento. Dependendo do local, podem existir montanhas capazes de gerar sombreamento da rampa, afetando o ganho de energia, fato que só ocorre na localidade de Cocais.



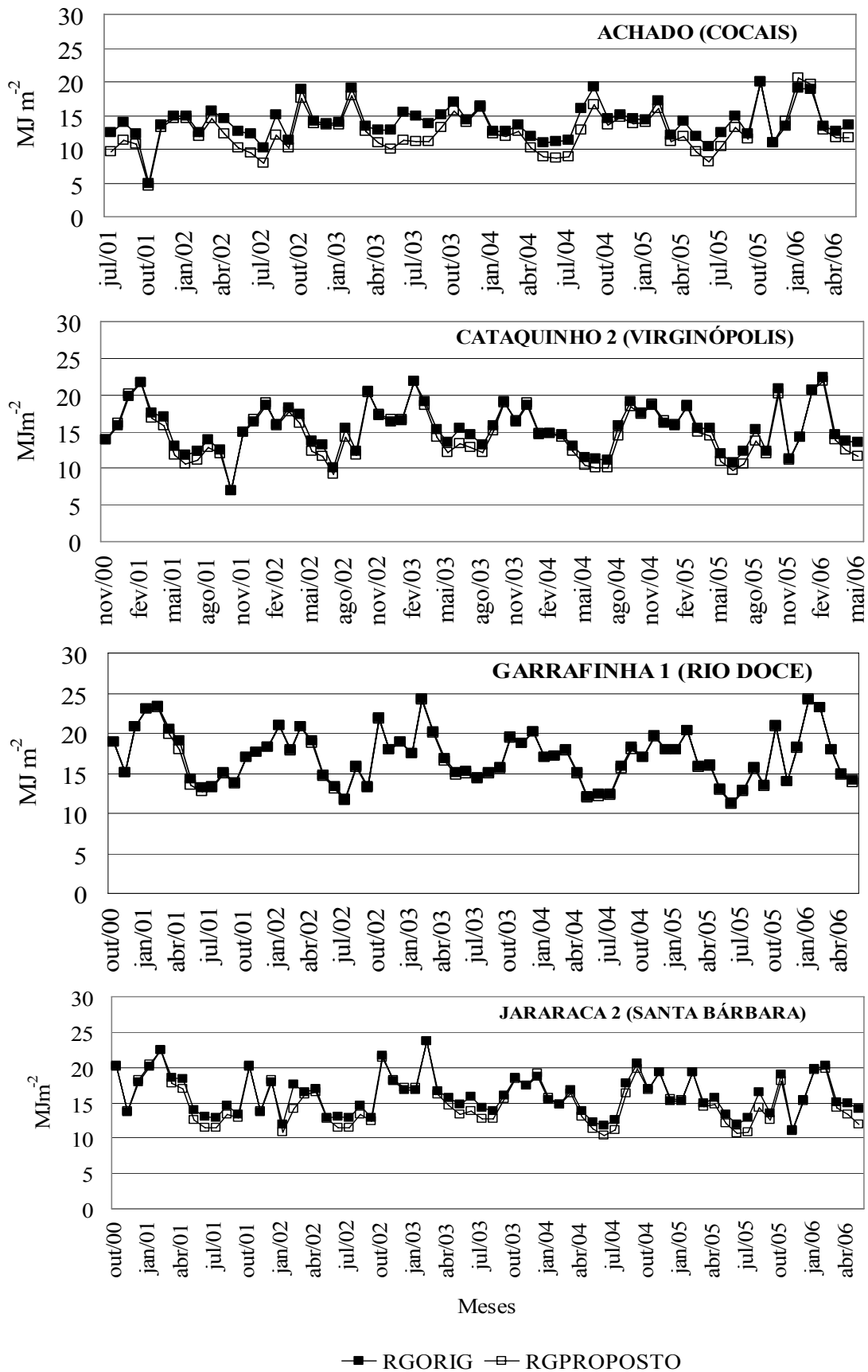


Figura 7\_Irradiância solar global obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto (RGPROPOSTO), com a face de exposição voltada para o sul nas regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.

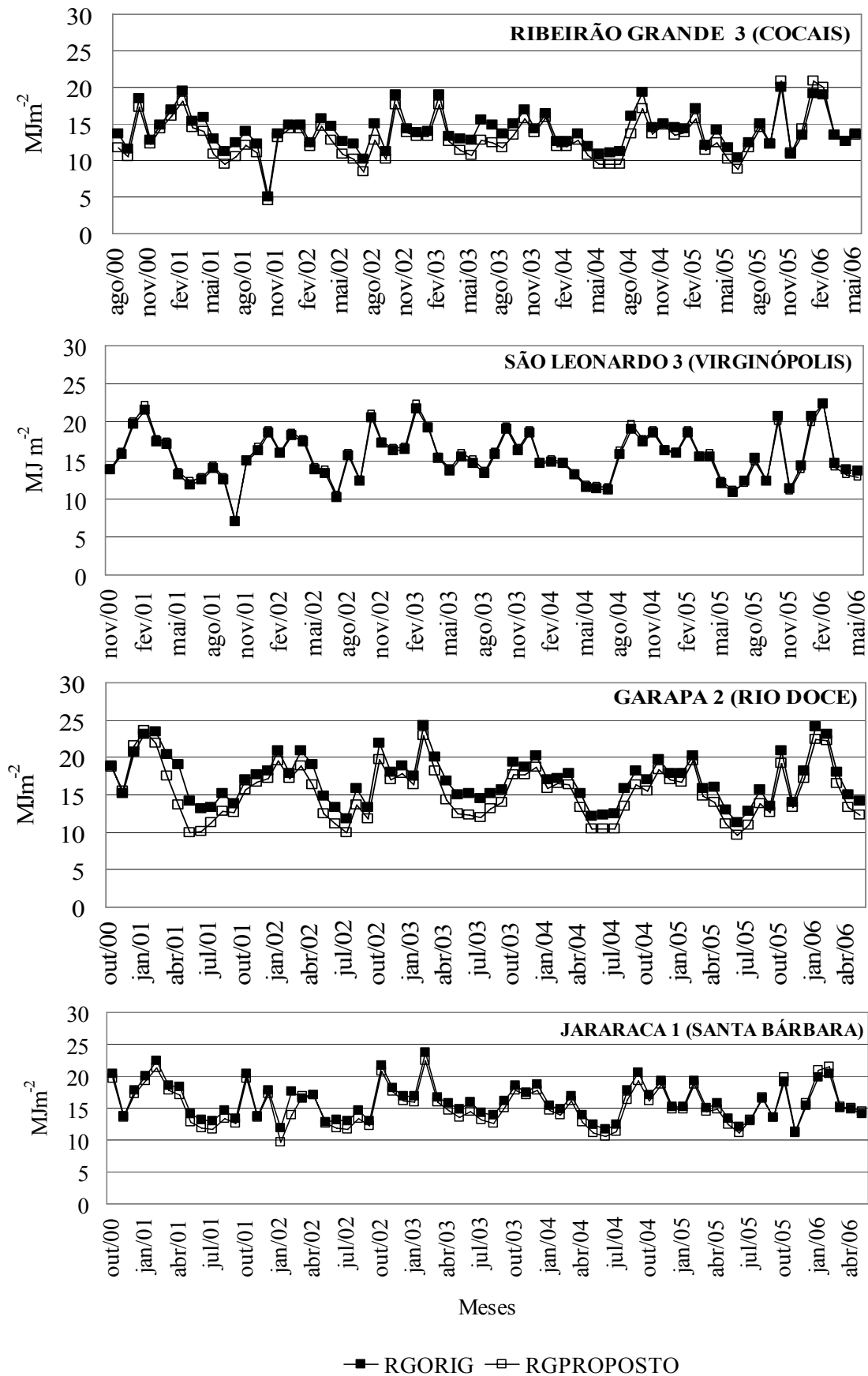


Figura 8\_Irradiância solar global obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto (RGPROPOSTO), com a face de exposição voltada para leste-oeste nas regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.

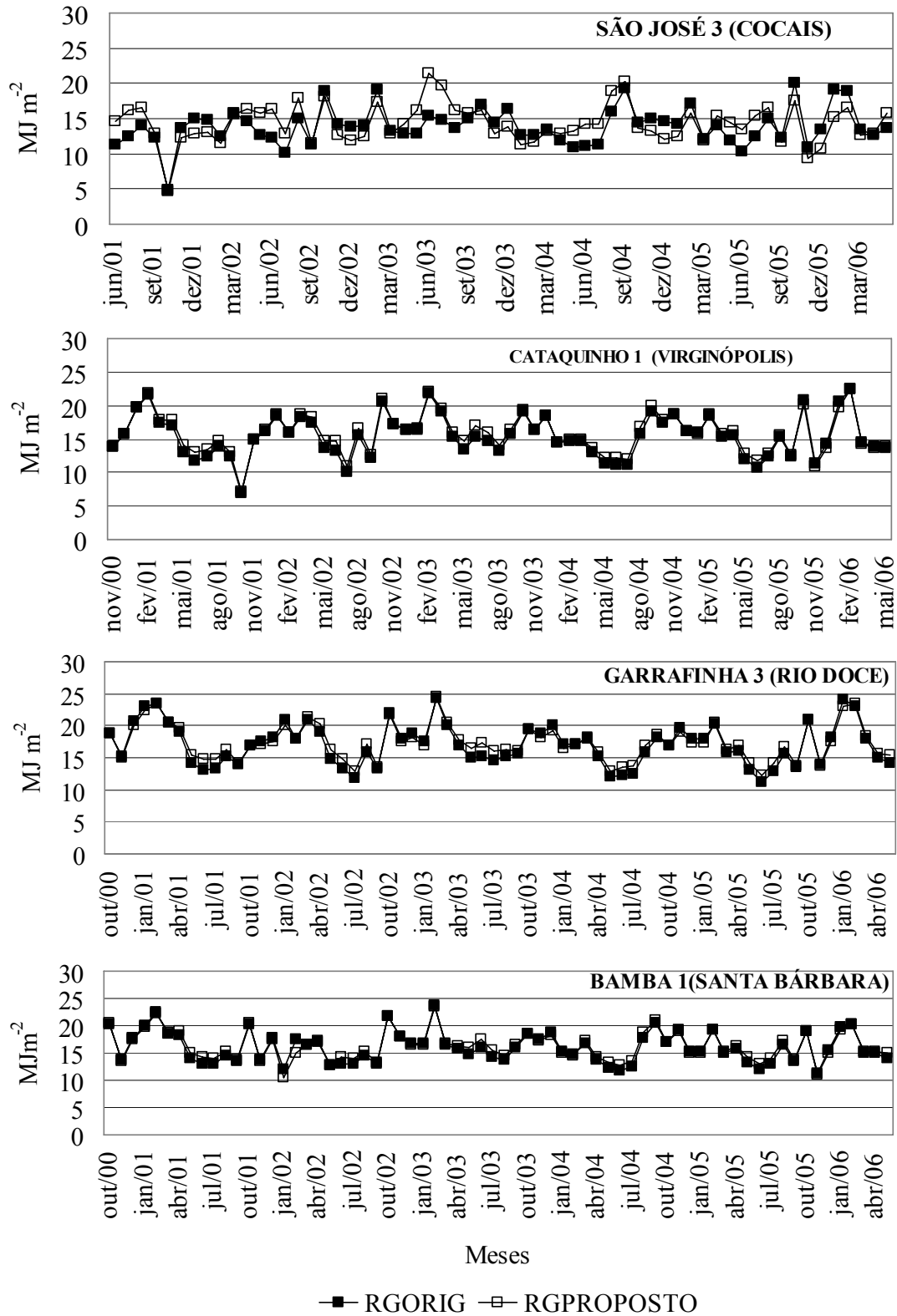


Figura 9\_Irradiância solar global obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto (RGPROPOSTO), com a face de exposição voltada para o norte nas regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.

A variação da irradiância solar total mensal pelo modelo original e pelo modelo proposto, cuja irradiância é corrigida em função da inclinação do terreno e do azimute, pode ser vista na Figura 10 com relação às localidades de Bião (Rio Doce) e São José (Cocais). Buscando com este estudo isolar o efeito edafoclimático de mesoescala, garantindo que, de forma mais otimista possível, as diferenças no potencial produtivo entre áreas seja apenas do efeito do relevo na microescala de plantios de eucalipto.

O modelo proposto distinguiu o efeito da exposição na intensidade de radiação com valores diferentes daqueles estimados com o modelo original (Figura 10).

Quando a face de exposição do terreno está voltada para o sul ocorreu menor incidência de radiação em ambas as regiões, e quando ela está voltada para o norte, ocorreu maior incidência de radiação. A maior intensidade na exposição norte decorre do posicionamento mais ao norte do sol durante boa parte do ano, mais especificadamente entre 25 de janeiro e 15 de novembro, ficando posicionado ao sul apenas no período referente a 16 de novembro a 24 de janeiro. Em alguns períodos do ano, a densidade de fluxo de radiação recebida pela face voltada para o norte é próxima à do modelo original. Isso ocorre no período em que o sol se posiciona mais ao sul, o que ocasiona aumento na intensidade de radiação na face voltada para o sul e uma diminuição na intensidade de radiação na face voltada para o norte.

Já as superfícies com as faces voltadas para leste e oeste, como dito anteriormente, tendem a compensar o ganho de energia, tendendo a se comportar como superfícies planas.

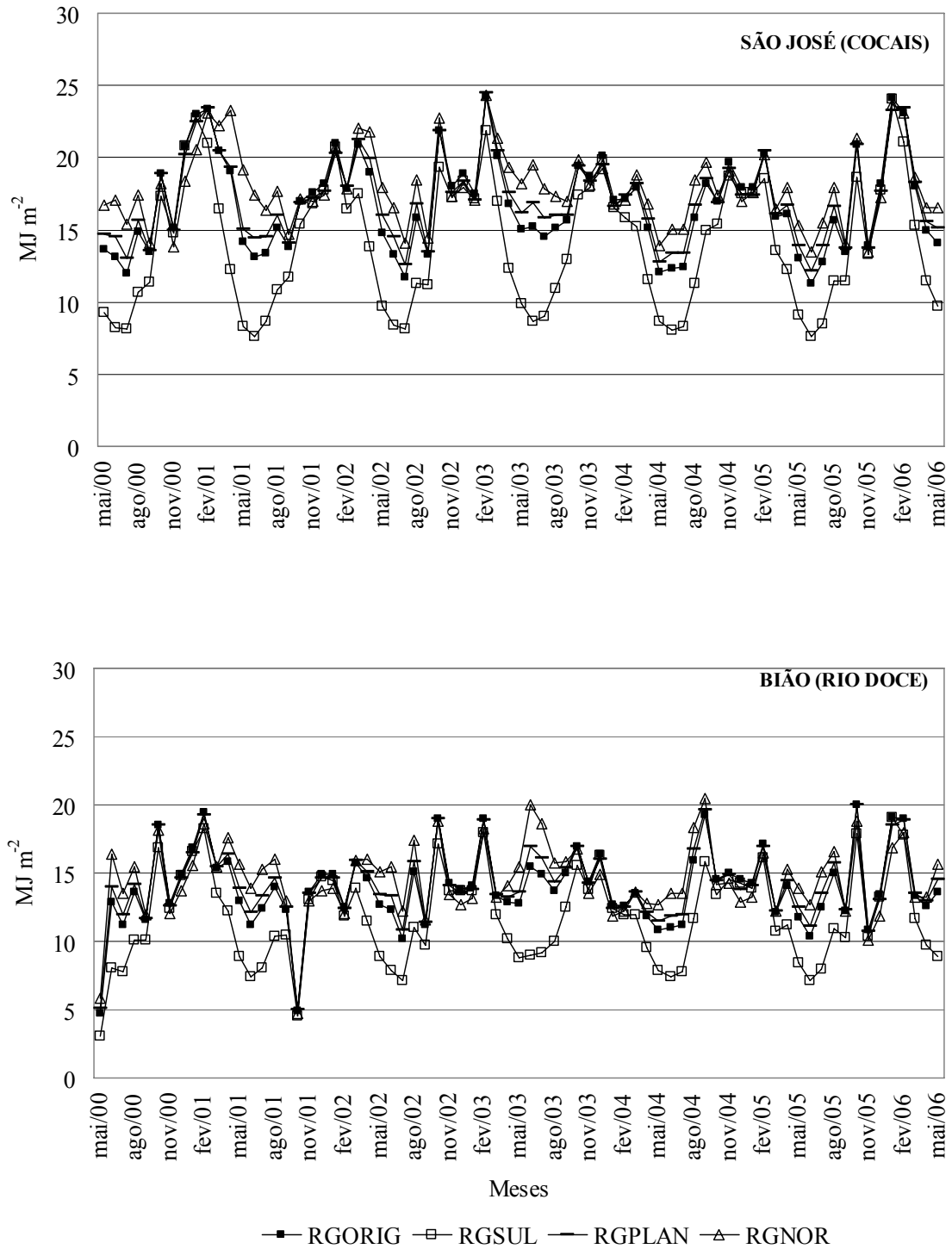


Figura 10\_Irradiância solar global média mensal obtida pelos modelos original (RGORIG) e proposto com a face de exposição voltada para o sul (RGSUL), para leste-oeste (RGPLAN) e para o norte (RNOR) em Cocais (São José) e Rio Doce (Bião).

No Quadro 5, discriminam-se as características das áreas escolhidas, apresentando o azimute das rampas, a face de exposição e a inclinação da rampa. O quadro também apresenta os valores do Incremento Médio Anual (IMA) observados nas faces sul, plana e norte. No projeto de São José, observou-se que os valores não diferiram estatisticamente entre si, já em Bião houve diferença estatística significativa entre as faces de exposição.

Quadro 5\_Características das áreas inventariadas com face de exposição, inclinação da rampa, azimute e Incremento Médio Anual (IMA) observado

Região	Projeto	Azimute	Inclinação	Face de Exposição	Latitude	Longitude	Altitude	IMA (OBSERVADO)
RIO DOCE	BIÃO	189°	24°	SUL	19° 14' 34"	42° 26' 31"	240	30,18 a
RIO DOCE	BIÃO	0°	08°	PLANO	19° 14' 34"	42° 26' 31"	240	35,92 b
RIO DOCE	BIÃO	31°	21°	NORTE	19° 14' 34"	42° 26' 31"	240	34,40 ab
COCAIS	SÃO JOSÉ	185°	25°	SUL	19° 24' 31"	42° 41' 19"	1273	48,23 c
COCAIS	SÃO JOSÉ	02°	07°	PLANO	19° 24' 31"	42° 41' 19"	1273	49,22 c
COCAIS	SÃO JOSÉ	03°	23°	NORTE	19° 24' 31"	42° 41' 19"	1273	51,84 c

Valores de IMA seguidos de mesma letra minúsculas não diferem entre si pelo teste de Tukey para  $p \leq 0,05$ .

A Figura 11 mostra o incremento médio anual (IMA) observado e estimado pelos dois modelos (original e proposto), em diferentes faces de exposição.

Observou-se que no projeto (São José) da região de Cocais os valores estimados pelo modelo proposto foram mais coincidentes com os dados observados do que aqueles obtidos com o modelo original. Notou-se também haver uma coerência no potencial produtivo nas diferentes faces de exposição, tanto para os valores observados como para aqueles obtidos pelo modelo proposto, em que as superfícies voltadas para o norte foram mais produtivas, pela ordem, que a superfície plana e a voltada para o sul. Isso se justifica pela maior exposição da face voltada para o norte aos raios solares na maior parte do ano. Avaliações de campo apontaram a tendência de plantios com exposição sul em apresentar maior índice de área foliar (IAF) (FACCO et al., 2007). Assim, essas áreas se mostraram menos produtivas devido à menor radiação fotossinteticamente ativa (RFA) disponível e por gastarem mais fotoassimilados para produzir folhas e galhos. É importante destacar que, embora os valores modelados sejam coerentes com os observados, a variação entre a produção de madeira dada pelos dados observados é pequena, indicando apenas uma tendência, posto que esses valores não são distintos entre si quando se considera o desvio-padrão (teste t).

Observou-se no projeto (Bião) da região de Rio Doce que tanto os valores do IMA obtidos com o modelo proposto e os observados na face sul são significativamente inferiores aos demais, indicando que a menor disponibilidade energética resulta em menor

ganho de biomassa de caule. Os demais valores foram bastante próximos, indicando que a exposição norte não diferiu coerentemente no modelo original e modelo proposto, nem em relação aos correspondentes dados observados. Isso pode indicar menor capacidade de diferenciação nessa localidade das ferramentas de simulação utilizadas.

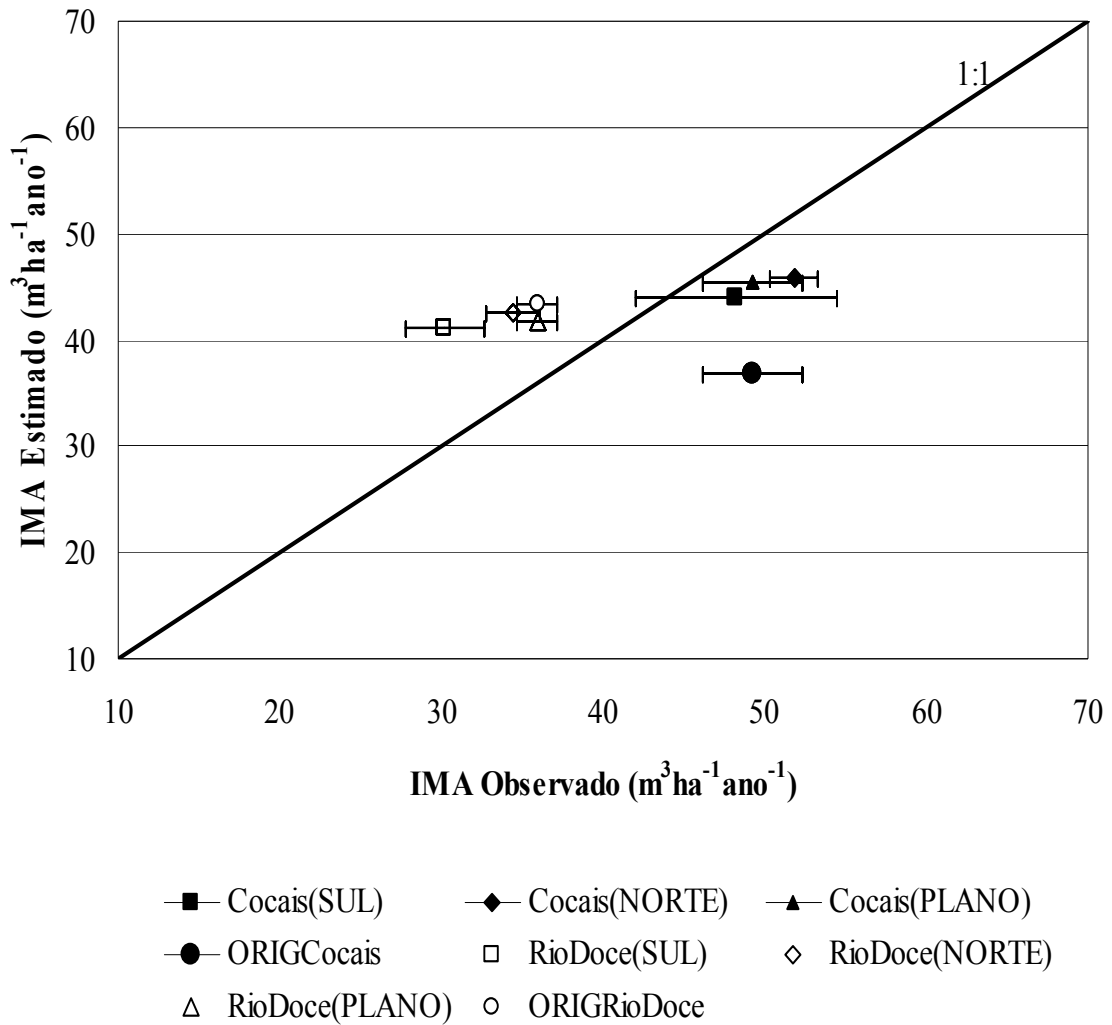


Figura 11\_Incremento médio anual (IMA) observado e estimado pelos modelos original e proposto para as regiões de Cocais e Rio Doce com as faces de exposição, voltada para o sul, leste-oeste (plano) e para o norte.

Para estabelecer a diferenciação nos parâmetros de respiração entre regiões de contraste de altitude, e conseqüentemente diferentes condições térmicas, foi feita uma análise de sensibilidade apresentada na Figura 12. Esta análise foi feita para as localidades de Cocais e Rio Doce, áreas de maiores diferenças de altitude.

A respiração é um processo sensível às mudanças de temperatura, variando conforme as flutuações sazonais e diárias de temperatura. Quando ocorre aumento de 10 °C na temperatura ( $Q_{10}$ ), ocorre também aumento na taxa metabólica entre 1,5 e 4,1 vezes, conseqüentemente aumentando a taxa respiratória (CLARK, 2004; MEIR et al., 2001; LOVEYS et al., 2003).

Segundo Tribuzy (2005), a resposta da respiração ao aumento de temperatura ocorre de forma exponencial, contribuindo para o balanço de carbono de uma folha e, conseqüentemente, colaborando para a redução da assimilação líquida de CO<sub>2</sub> (CLARK, 2004; MEIR et al., 2001; LOVEYS et al., 2003). Em geral, a respiração aumenta até temperaturas entre 30 e 35 °C, sendo que em torno de 40 °C se inicia uma queda na atividade respiratória. Essa queda na atividade respiratória, nas temperaturas mais elevadas, provavelmente está associada a danos nas membranas e desnaturação de enzimas e ao esgotamento das reservas orgânicas utilizadas pela respiração (KADER, 1987; TOIVONEN, 2003).

O parâmetro de respiração pode ser entendido como sendo uma fração constante da relação entre a produção primária líquida (PPL) e a produção primária bruta (PPB).

Segundo Landsberg e Waring (1997) a fração PPL/PPB varia entre os valores de 0,45 a 0,50, tendo sido feito neste estudo uma análise de sensibilidade neste intervalo de valores. Foi escolhido o valor de 0,47 por se o mais utilizado na literatura (ALMEIDA; LANDSBERG, 2004). Já o valor de 0,49 foi escolhido para as regiões mais altas por estas apresentarem uma tendência de respirarem menos, ou seja, terem um maior aproveitamento na relação PPL/PPB. Quanto maior o valor da respiração menor a perda pela planta, ou seja, o valor de 0,47 indica que 0,53 % da PPB está sendo aproveitado pela planta.

No Quadro 6, apresenta-se uma comparação dos diferentes parâmetros utilizados nas quatro localidades.



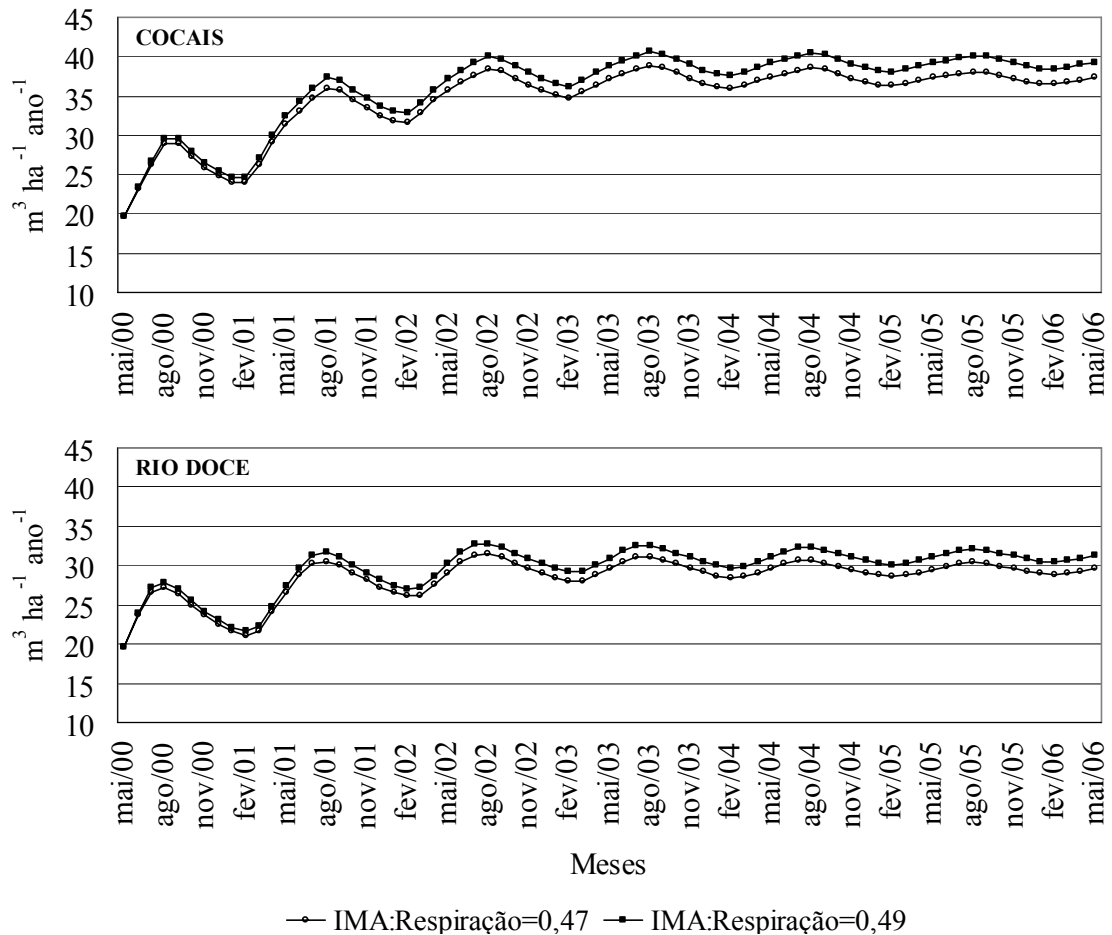


Figura 12\_Incremento médio anual (IMA) estimado pelo modelo original para as regiões de Cocais e Rio Doce com variação da respiração.

Quadro 6 Principais parâmetros do Modelo 3-PG com as parametrizações realizadas por Silva (2006), Sands e Landsberg (2002), Stape et al. (2004) e Almeida et al. (2004)

Parâmetros padrões do 3-PG	Nome	Unidades	Silva (2006)	Sands e Landsberg (2002)	Stape (2004)	Almeida (2004)	Padrão
<b>Partição de biomassa e rotatividade</b>							
<b>Relações alométricas e partições</b>							
Partição folha:lenho para D=2 cm	pFS2	-	1	1	0,096	0,7	1
Partição folha:lenho para D=20 cm	pFS20	-	0,09	0,15	0,034	0,1	0,15
Constante na relação massa de caule vs. diâmetro	StemConst	-	0,1076	0,095	0,065	0,045	0,095
Potência na relação massa de caule vs. diâmetro	StemPower	-	2,51	2,4	2,68	2,812	2,4
Fração máxima de PPL para raízes	pRx	-	0,5	0,8	0,8	0,6	0,8
Fração mínima de PPL para raízes	pRn	-	0,1	0,25	0,2	0,1	0,25
<b>Serapilheira e renovação de raiz</b>							
Taxa de queda de serapilheira para plantios em idade adulta	gammaFx	1/month	0,1	0,027	0,07	0,13	0,03
Taxa de queda de serapilheira para t=0	gammaF0	1/month	0,001	0,001	0,001	0,0017	0,001
Idade em que a taxa de queda de serapilheira tem seu valor médio	tgammaF	months	12	12	4	13	24
Taxa média de ciclagem radicular	Rttover	1/month	0,015	0,015	0,015	0,025	0,015
<b>PPB e modificadores da condutância</b>							
<b>Modificador da temperatura (fT)</b>							
Temperatura mínima para crescimento	Tmin	deg. C	8	8,5	8	8	-999
Temperatura ótima para crescimento	Topt	deg. C	25	16	25	25	25
Temperatura máxima para crescimento	Tmax	deg. C	40	40	40	36	999
<b>Modificador de gelo (fFrost)</b>							
Dias de produção perdidos por dias de gelo	kF	days	1	1	1	1	1
<b>Modificador de água no solo (fSW)</b>							
Déficit na proporção de umidade para f = 0.5	SWconst	-	999	999	999	999	0,7
Potência no déficit de proporção de umidade	SWpower	-	9	9	9	9	9
<b>Efeitos da fertilidade</b>							
Valor de m quando FR =0	m0	-	0	0	0	0	0
Valor de fNutr quando FR =0	fN0	-	0,5	1	0,5	0,5	1
Potência de (1-FR) em fNutr	fNn	-	1	0	1	1	0
<b>Modificador de idade (fAge)</b>							
Máxima idade-padrão usada no modificador de idade	MaxAge	years	50	50	50	50	50
Potência da idade relativa em função da idade	nAge	-	4	4	4	4	4
Idade relativa para fAge =0.5	rAge	-	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
<b>Mortalidade de caule e self-thinning</b>							
Taxa de mortalidade para t grande	gammaNx	%/year	0	0	0	0	0
Taxa de mortalidade de semente (t=0)	gammaN0	%/year	0	0	0	0	0
Idade em que a taxa de mortalidade tem seu valor médio	tgammaN	years	2	2	2	2	2
Forma de resposta da mortalidade	ngammaN	-	1	1	1	1	1
Máxima massa de caule por árvore 1.000 árvores/hectare	wSx1000	kg/tree	300	300	300	180	300
Potência na regra self-thinning	thinPower	-	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Fração média perdida de biomassa de folha em árvore-simples por morte de árvore	mF	-	0	0	0	0	0
Fração média perdida de biomassa de raiz em árvore-simples por morte de árvore	mR	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fração média perdida de biomassa de caule em árvore-simples por morte de árvore	mS	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Estrutura do dossel e processos</b>							
<b>Área foliar específica</b>							
Área foliar específica para plantios em idade 0	SLA0	m <sup>2</sup> /kg	17	11	11	10,5	6
Área foliar específica para plantios em idade adulta	SLA1	m <sup>2</sup> /kg	8,24	4	8,5	8	6
Idade em que a área foliar específica = (SLA + SLA1)/2	tSLA	years	0,81	2,5	2,5	2,5	2,5
<b>Intercepção de luz</b>							
Coefficiente de extinção da APAR pelo dossel	k	-	0,47	0,5	0,4	0,5	0,5
Idade de fechamento do dossel	fullCanAge	years	1	0	1,5	0	0
Proporção máxima de precipitação interceptada pelo dossel	MaxInteptn	-	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
LAI em que ocorre a máxima intercepção de precipitação	LAImaxInteptn	-	3,33	0	0	3	0
<b>Produção e respiração</b>							
Eficiência quântica do dossel	alpha	molC/molPAR	0,07	0,07	0,08	0,068	0,055
Relação PPL/GPP	Y	-	0,47/0,49	0,47	0,5	0,47	0,47
<b>Condutância</b>							
Máxima condutância do dossel	MaxCond	m/s	0,02	0,02	0,02	0,021	0,02
LAI para máxima condutância do dossel	LAIgex	-	3,33	3,33	3,33	3	3,33
Define a resposta estomática ao DPV	CoeffCond	1/mBar	0,04				0,05
Condutância na camada-limite do dossel	BLcond	m/s	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>Madeira e propriedade padrão</b>							
<b>Fração de ramo e casca (fracBB)</b>							
Fração de ramo e casca para plantios em idade 0	fracBB0	-	0,79	0,75	0,75	0,3	0,15
Fração de ramo e casca para plantios em idade adulta	fracBB1	-	0,11	0,15	0,15	0,12	0,15
Idade em que a fração de galhos e casca é = (fracBB + fracBB1)/2	tBB	years	1,35	2	2	5	1,5
<b>Densidade Básica</b>							
Densidade básica mínima para árvores jovens	rhoMin	t/m3	0,356				0,500
Densidade básica máxima para árvores adultas	rhoMax	t/m3	0,5	0,45	0,45	0,52	0,500
Idade em que a densidade básica = (rhoMin + rhoMax)/2	tRho	years	2,1	4	4	4	4
<b>Altura do caule</b>							
Constante na relação altura do caule	aH	-	0,6	0,6	0,6	0,6	0
Potência de DAP na relação altura do caule	nHB	-	1,2	1,2	1,2	1,2	0
Potência de stocking na relação altura do caule	nHN	-	0	0	0	0	0
<b>Volume de caule</b>							
Constante na relação volume do caule	aV	-	0	0	0	0	0
Potência de DAP na relação volume do caule	nVB	-	0	0	0	0	0
Potência de stocking na relação volume do caule	nVN	-	0	0	0	0	0
<b>Fatores de conversão</b>							
Relação da radiação solar líquida vs. Intercepção	Qa	W/m2	-90	-90	-90	-90	-90
Relação da radiação solar líquida vs. Inclinação	Qb	-	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Peso molecular da matéria seca	gDM_mol	gDM/mol	24	24	24	24	24
Conversão de radiação solar para PAR	molPAR_MJ	mol/MJ	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3

Nas Figuras de 13 a 16, apresentam-se as correlações do IMA entre os dados modelados e observados nas quatro regiões estudadas: Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara. Essas figuras ilustram as correlações entre os dados observados com os modelados para o modelo original (a) e para o modelo proposto (b).

Nas Figuras 13 a 16, apresentam-se também os coeficientes de determinação das regiões estudadas para o modelo original (a) e proposto (b), respectivamente. O modelo original apresenta coeficientes de determinação variando entre 0,04 e 0,83 e coeficiente angular oscilando entre 0,69 e 0,99. Como foi discutido por Silva (2006) o modelo original foi capaz de estimar uma produtividade diferenciada em função das características edafoclimáticas das regiões estudadas.

O modelo proposto apresenta coeficiente de determinação variando entre 0,63 e 0,85, respectivamente para as localidades de Santa Bárbara e Virginópolis, em que o menor ajuste de Santa Bárbara pode ser explicado pelo menor número de pontos. Foram observados bons ajustes em Cocais e Rio Doce, com coeficientes de determinação de 0,73 e 0,85. O coeficiente angular determinado para o modelo proposto entre as regiões estudadas variou entre 0,96 e 1,03.

Pôde-se observar que as alterações efetuadas no modelo proposto, como a variação do balanço hídrico para base horária, a estimativa da transpiração utilizando a equação de Penman–Monteith (1965) em escala horária e a correção da irradiância solar global em função da inclinação e da face de exposição do terreno contribuíram na melhoria dos resultados obtidos pelo modelo, ou seja, o modelo proposto efetivamente (e apesar do maior número de pontos no modelo proposto que no original) melhorou, principalmente, a capacidade “explicativa” (maior  $R^2$ ).

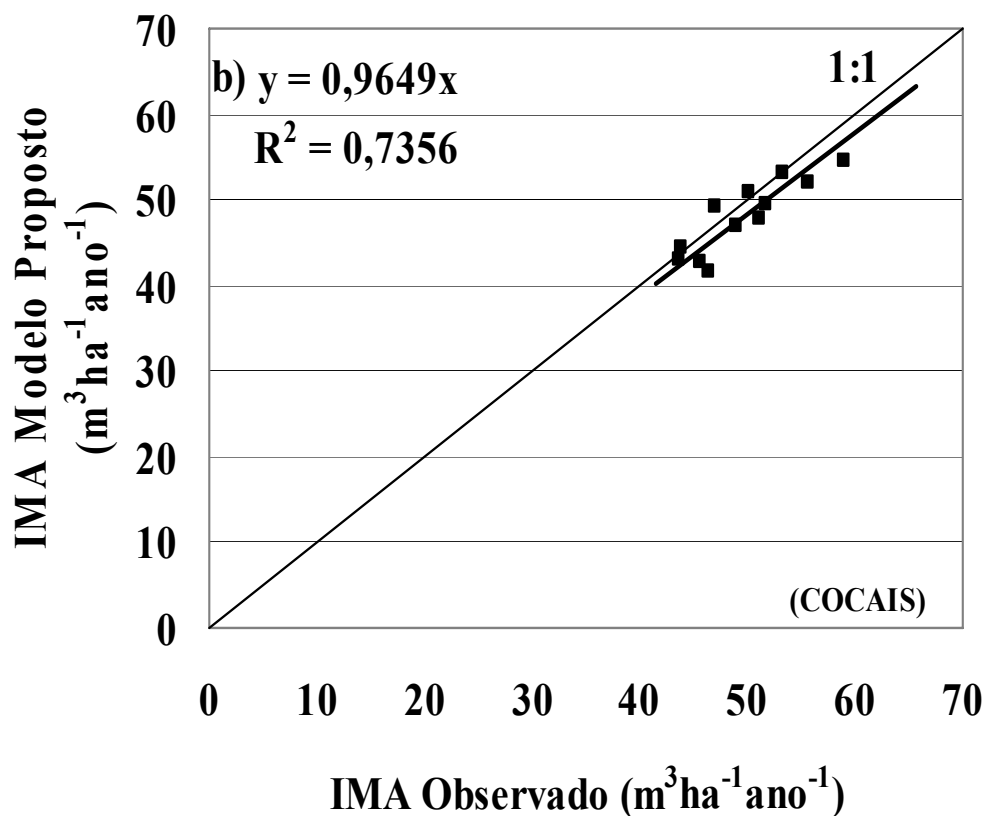
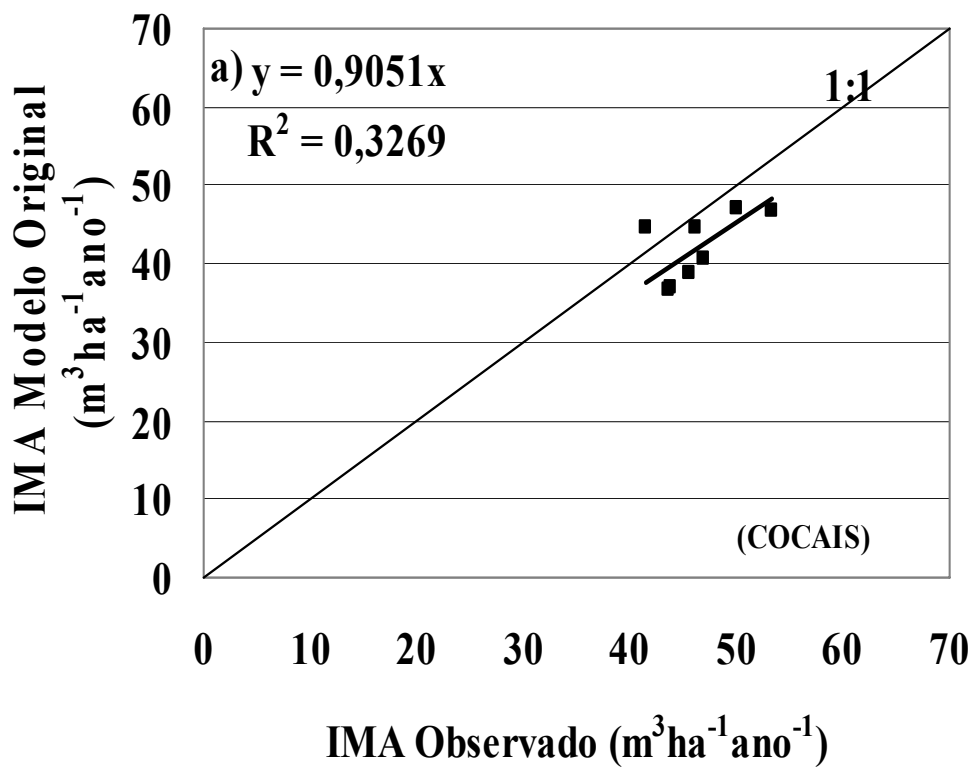


Figura 13\_Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Cocais.

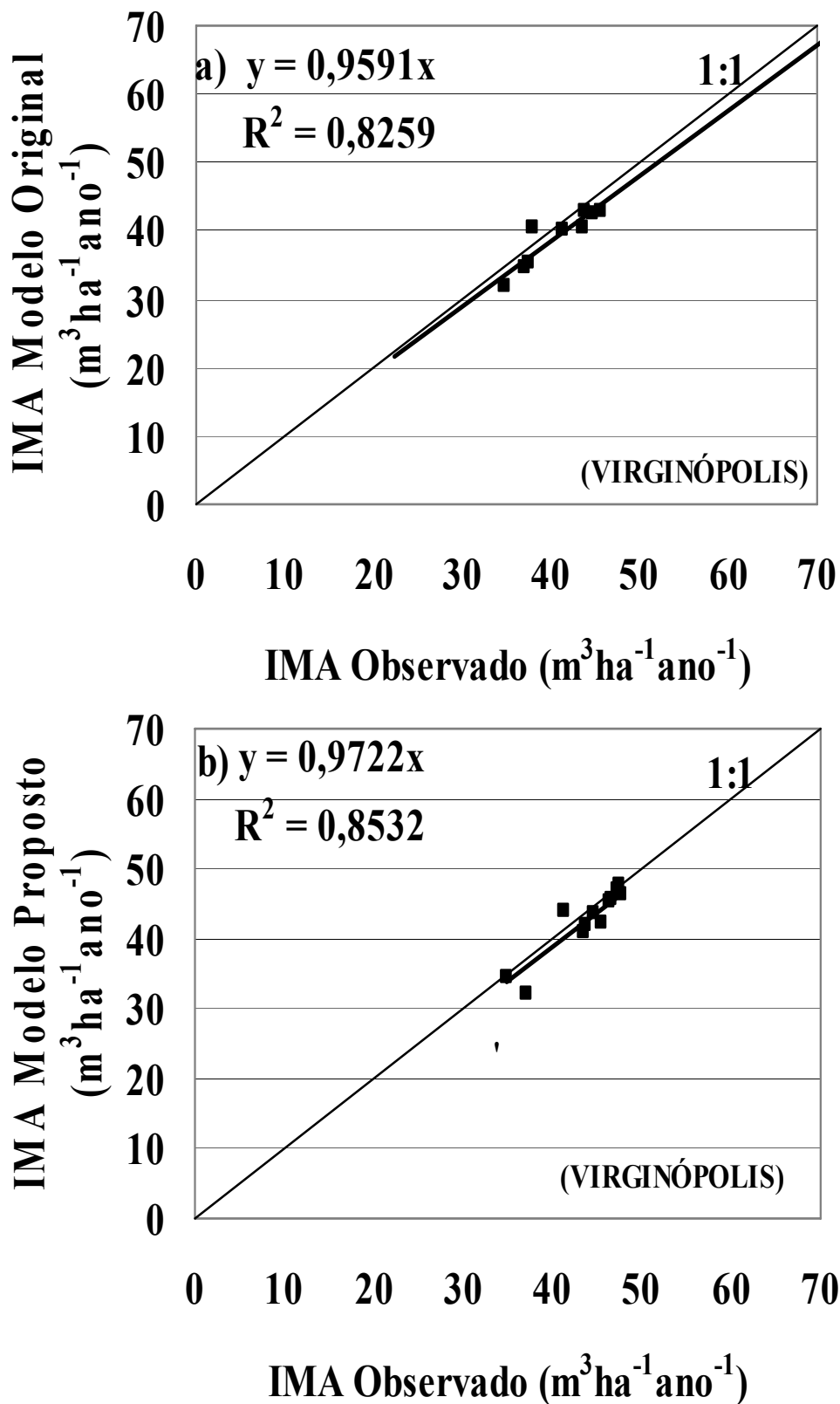


Figura 14\_Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Virginópolis.

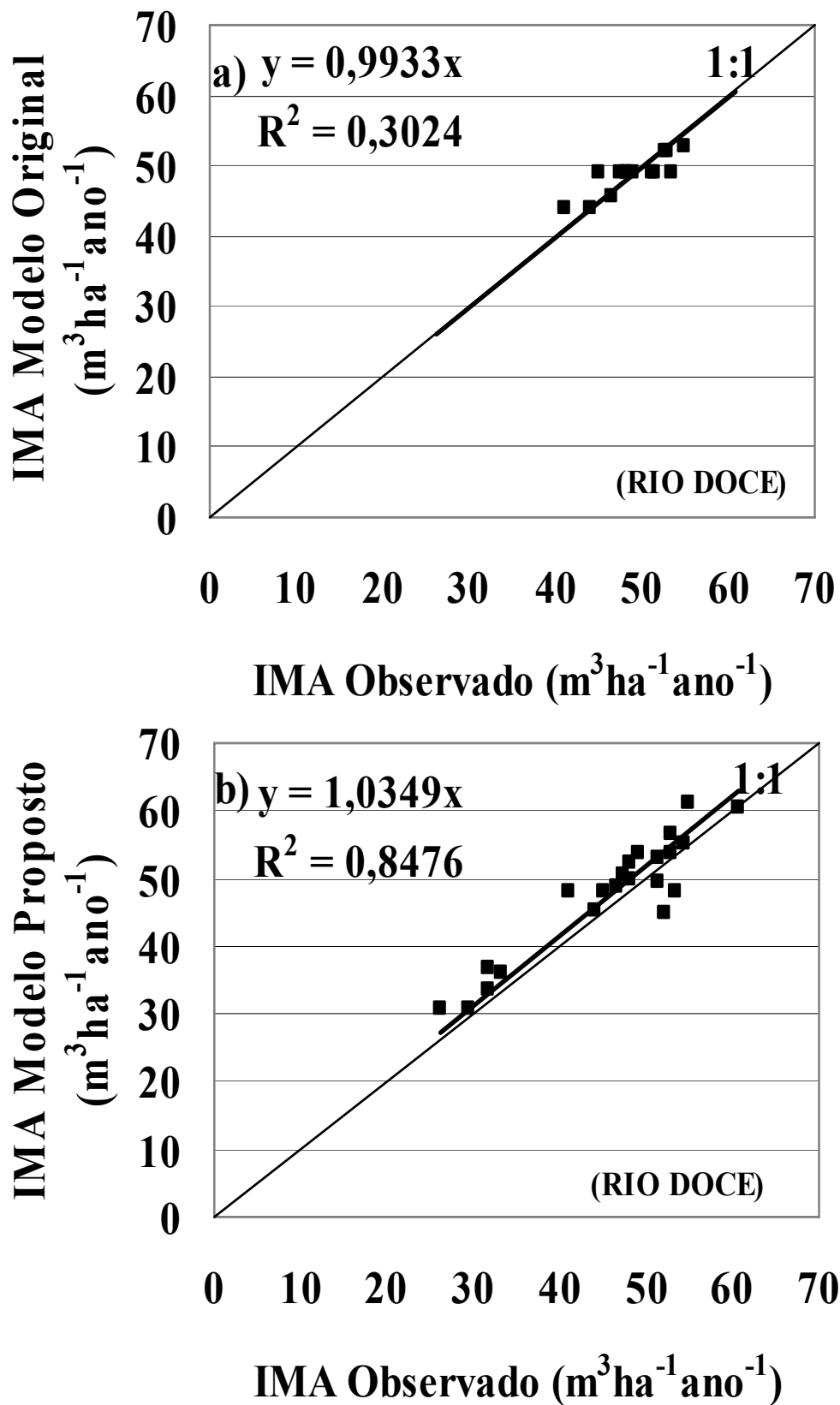


Figura 15\_ Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Rio Doce.

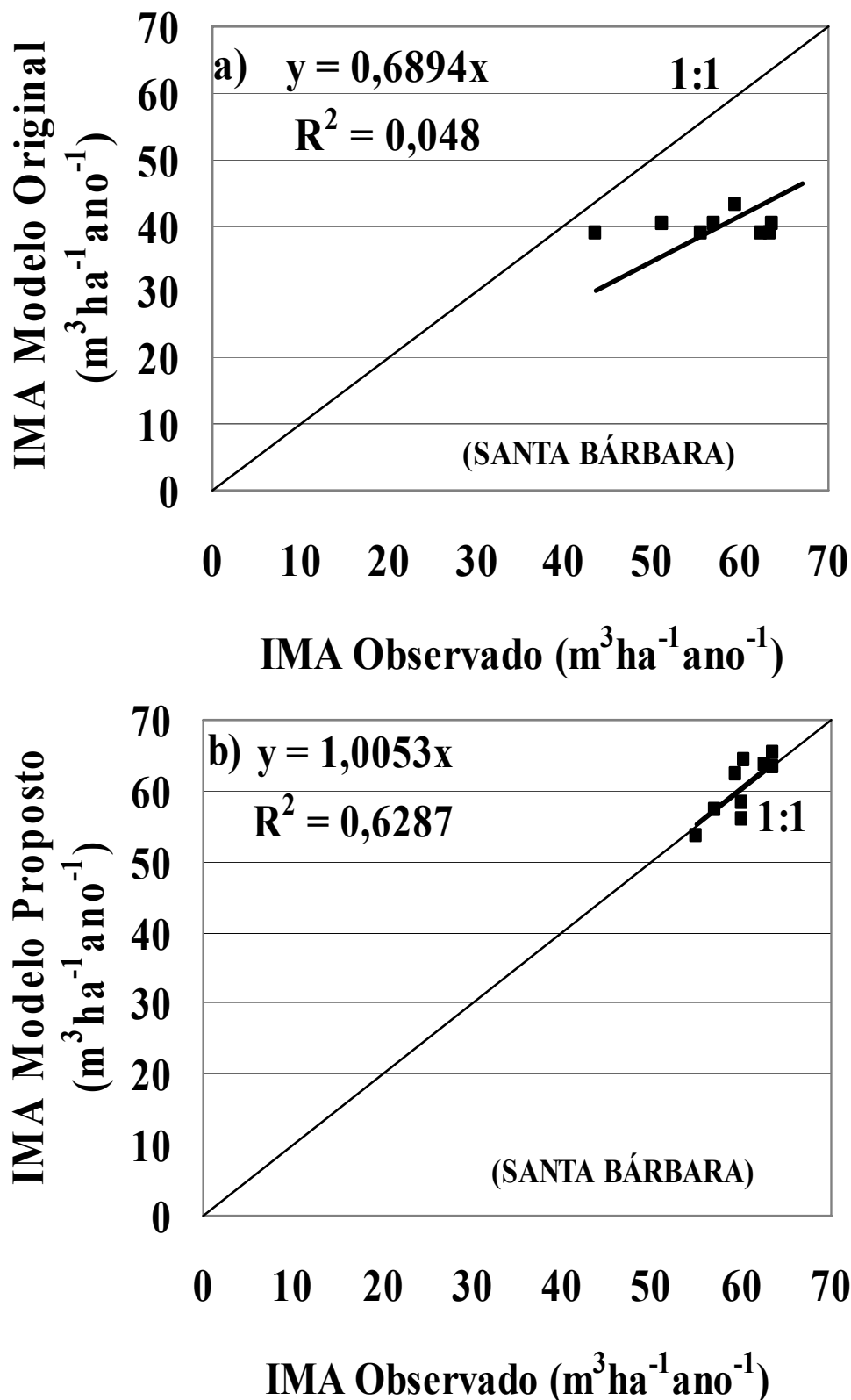


Figura 16\_Correlação entre os dados do Incremento Médio Anual (IMA) observado e simulado pelo modelo original e entre o IMA observado e simulado pelo modelo proposto para a região de Santa Bárbara.

Os totais anuais de chuva ao longo do período de estudo nas quatro áreas apresentaram valores que variaram de 944 mm a 1.550 mm para Cocais, de 888 a 1.806 para Santa Bárbara, de 975 a 1.582 para Virginópolis e de 1.114 a 1.610 para Rio Doce (Figura 17).

O modelo proposto apresenta totais de evapotranspiração superior aos do modelo original, independentemente da região. Isso pode ser explicado pelo fato de o modelo modificado calcular a ET com maior rigor no processo físico.

O modelo original usa no cálculo da evapotranspiração a equação de Penman–Monteith (1965), com algumas simplificações, em que a condutância aerodinâmica é dada como um parâmetro fixo, além de não contemplar o balanço de radiação e efetuar seus cálculos em base mensal. No cálculo da evapotranspiração pelo modelo proposto é utilizada a equação de Penman–Monteith (1965), que inclui os componentes aerodinâmicos e do balanço de radiação, sendo os cálculos efetuados em base horária e integrados para valor mensal, para alimentar o módulo de crescimento do modelo.

Outra explicação para a ET elevada é a quantidade de chuva nas regiões estudadas, existindo em todas as regiões uma boa disponibilidade de chuva durante todo o ano. Já o modelo original, mesmo com maior quantidade de chuva, evapotranspira pouco, ou seja, ele não responde de maneira significativa à quantidade de chuva disponível no solo.

No cálculo da ET, o modelo original apresentou totais anuais por região, que variaram interanual de 400 a 818 mm para Cocais, variou de 465 a 683 mm para Santa Bárbara, de 559 a 802 mm para Rio Doce e de 528 a 796 mm para Virginópolis, ou seja, valores bem abaixo da chuva observada no mesmo período.

Já o modelo proposto teve maiores totais anuais de evapotranspiração por região; para Cocais variou de 370 a 1.060 mm e para Rio Doce de 803 a 1.298 mm. Já em Santa Bárbara oscilou de 451 a 1.478 mm e na região de Virginópolis, de 707 a 1024 mm.

Por serem regiões localizadas nos trópicos, ou seja, regiões que têm maior disponibilidade de chuva e também maior demanda atmosférica, espera-se encontrar valores de evapotranspiração mais altos do que os encontrados pelo modelo original.

Em estudos para a mesma região, Souza et al. (2006b) também observaram valores anuais de evapotranspiração bem mais altos que os obtidos pelo modelo original para a região de Rio Doce, com um total de 1.593 mm, Virginópolis com 1.103 mm e Santa Bárbara com 1.036 mm.



Em estudos para Aracruz (ES), Soares et al. (1999) encontraram valores de evapotranspiração total anual de 1.049 mm. Stape (2004) também encontrou valores de evapotranspiração da ordem de 1.470 mm para Entre Rios (BA), no nordeste do Brasil.

Segundo Almeida e Soares (2003), quando o eucalipto está no final do seu ciclo de crescimento as taxas de evapotranspiração praticamente se estabilizam, o que pode ser visualizado para os valores de evapotranspiração obtidos pelo modelo original (Figura 17).

Fica claro que os valores de ET estimada pelo modelo original crescem exponencialmente com o aumento dos totais de chuva até se estabilizarem em 600 mm. O mesmo comportamento, com exceção de Santa Bárbara, foi verificado para o modelo proposto com a estabilização da ET total anual em cerca de 1.000 mm. Isso quer dizer que há uma tendência de que totais de chuva superiores a 1.300 mm não promovem aumento dos totais anuais de ET além de 1.000 mm, valor bastante coerente com o apresentado por Souza et al (2006a, b) em estudos na região. Esse limite superior pode estar relacionado com a menor disponibilidade de energia, já que em períodos chuvosos a nebulosidade reduz, a irradiância solar. Isto é reforçado pelo estudo conduzido por Schimel et al. (1997), que observaram forte relação entre a evapotranspiração e a produção primária líquida, verificando que o aumento da evapotranspiração resulta em aumento dos valores de produção primária líquida até determinado ponto, de forma semelhante ao observado entre a relação da evapotranspiração com a chuva.

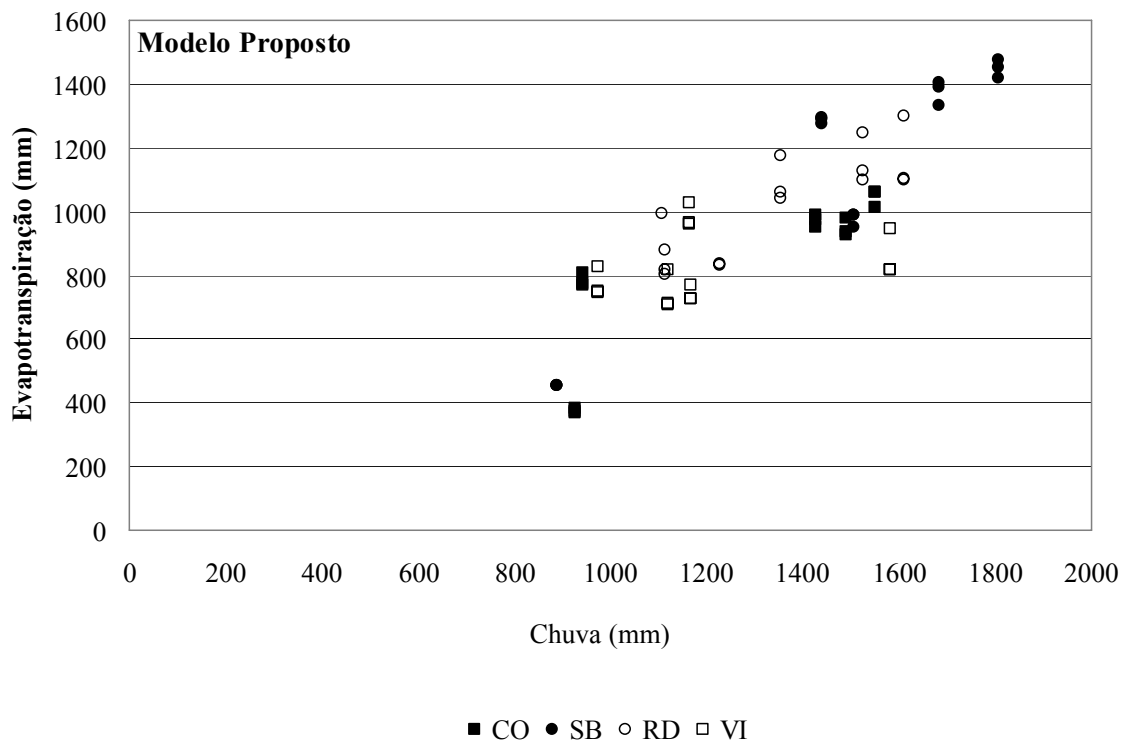
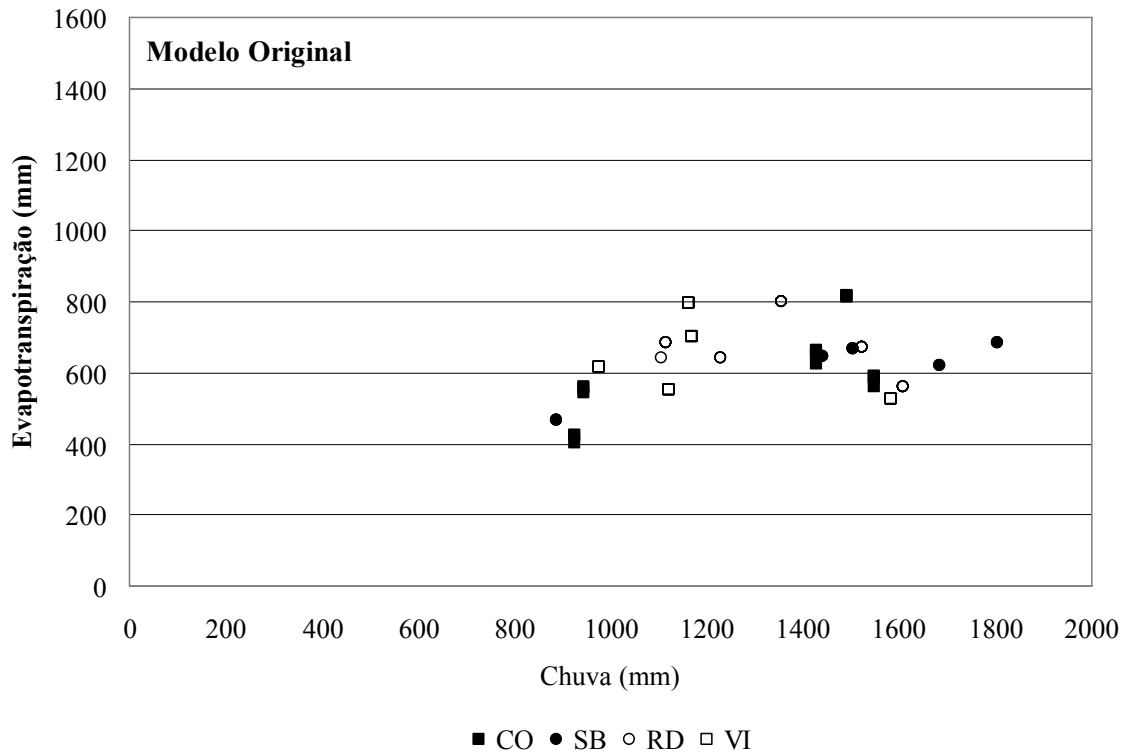


Figura 17\_Relação entre a evapotranspiração anual, estimada pelos modelos original e proposto e de chuva ocorrida nas regiões de Cocais (CO), Santa Bárbara (SB), Rio Doce (RD) e Virginópolis (VI).

O modelo original considera no cálculo do balanço hídrico uma capacidade máxima de armazenamento (CAD) fixa de 100 mm, nas diferentes idades e tipos de solo. O cálculo do balanço hídrico empregado no modelo original tem base mensal, o que prejudica a estimativa do déficit hídrico em períodos mais curtos, importante variável na modelagem do desenvolvimento de florestas, tendendo a distribuir, de forma homogênea, o total de chuva observado em um mês específico, o que na realidade pode não ocorrer. Já no modelo proposto à base de cálculo foi mudada para base horária, buscando contemplar a distribuição desuniforme no tempo da chuva e da evapotranspiração e, conseqüentemente, o balanço hídrico.

As Figuras 18 a 20 ilustram o comportamento da CAD e a variação do armazenamento de água simulados pelos modelos original e proposto nas regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara, respectivamente. Tendo sido escolhidos projetos representativos para cada uma delas, com face de exposições sul, plana e norte.

Verificou-se que a CAD varia com a idade. Isso se justifica pela variação da profundidade do sistema radicular (PSR, Figura 21), que no modelo proposto variou segundo uma função apresentada na equação 65, tendo como variável independente a idade. Nota-se também existir uma variação da CAD para as diferentes regiões e projetos que se deve à utilização de valores medidos da disponibilidade total de água no solo (DTA), dados em  $\text{mm m}^{-1}$ .

As regiões de Virginópolis e Cocais tiveram os menores valores de DTA e Santa Bárbara e Rio Doce, os maiores. Pôde-se observar que, na região de Virginópolis, ocorreu menor amplitude entre o ARMPROPOSTO e ARMORIG, fato que pode ser explicado pela menor quantidade de chuva ocorrida na região, havendo maior amplitude na região de Santa Bárbara, justamente onde ocorreu maior quantidade de chuva.

Segundo Menezes (2005), há falta de sensibilidade do Modelo 3PG quanto às características de solo, uma vez que a influência da classe textural, nesse modelo, se dá por meio de constantes associadas ao modificador de água no solo, e pela capacidade de água disponível (CAD), sem apresentar tratamento algum na organização do espaço poroso do solo, na forma de um modificador.

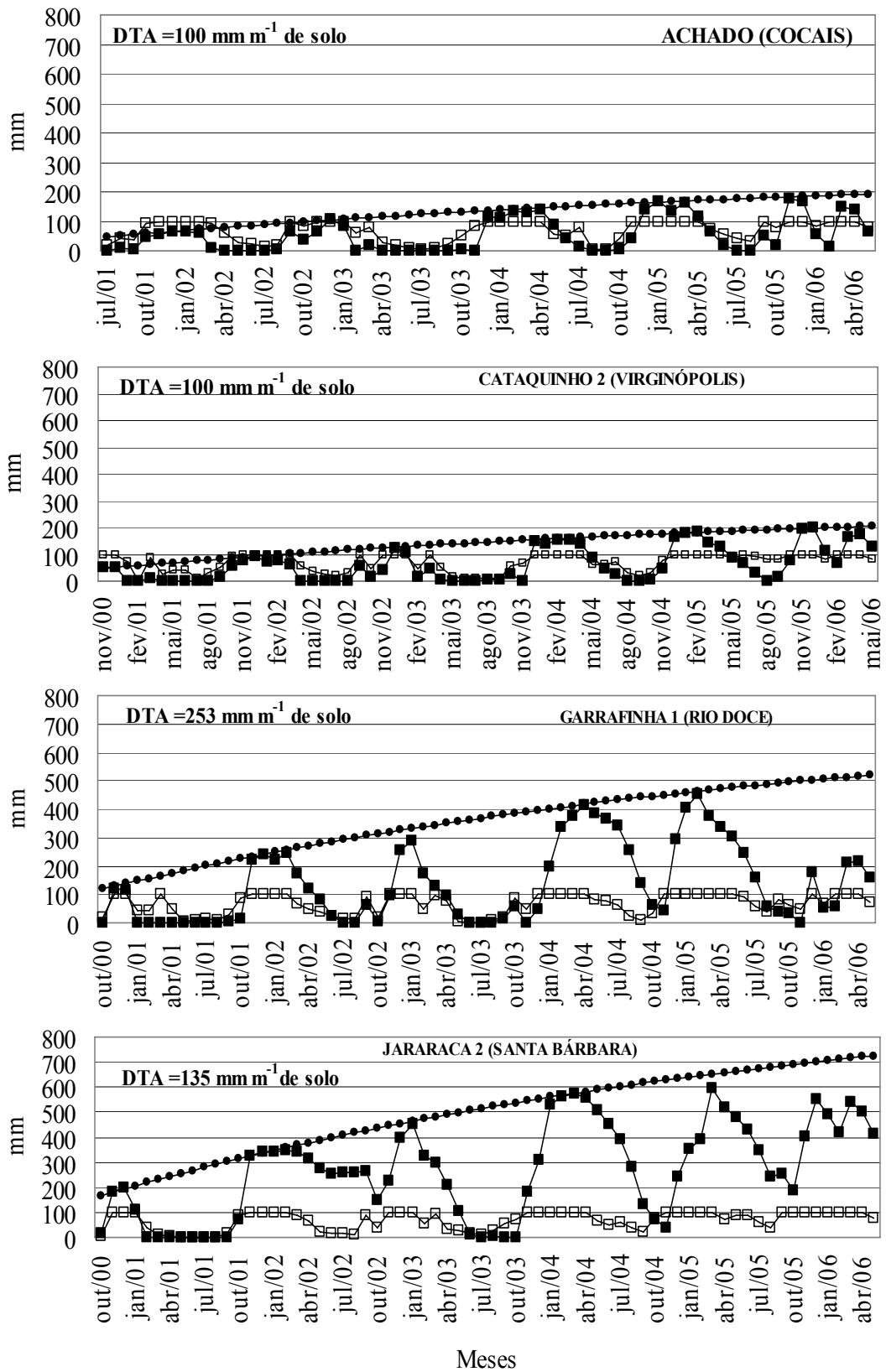


Figura 18\_ Valores mensais do armazenamento de água no solo, para os modelos proposto (ARMPROPOSTO) e original (ARMORIG), e da capacidade de água disponível (CAD) para o modelo proposto, nas quatro regiões estudadas e com a face de exposição sul.

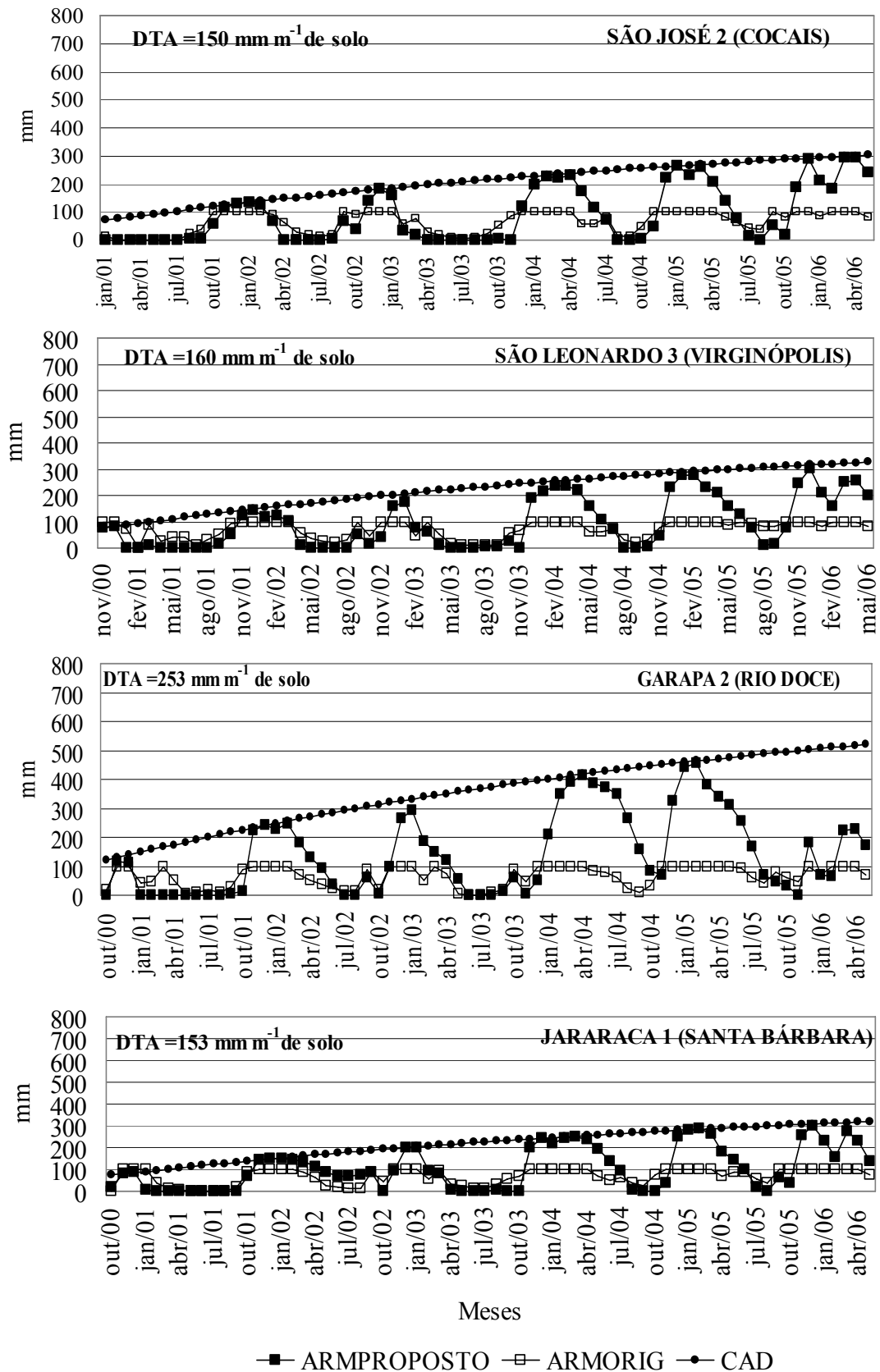


Figura 19\_ Valores mensais do armazenamento de água no solo, para os modelos proposto (ARMPROPOSTO) e original (ARMORIG), e da capacidade de água disponível (CAD) para o modelo proposto, nas quatro regiões estudadas e com a face de exposição leste-oeste.

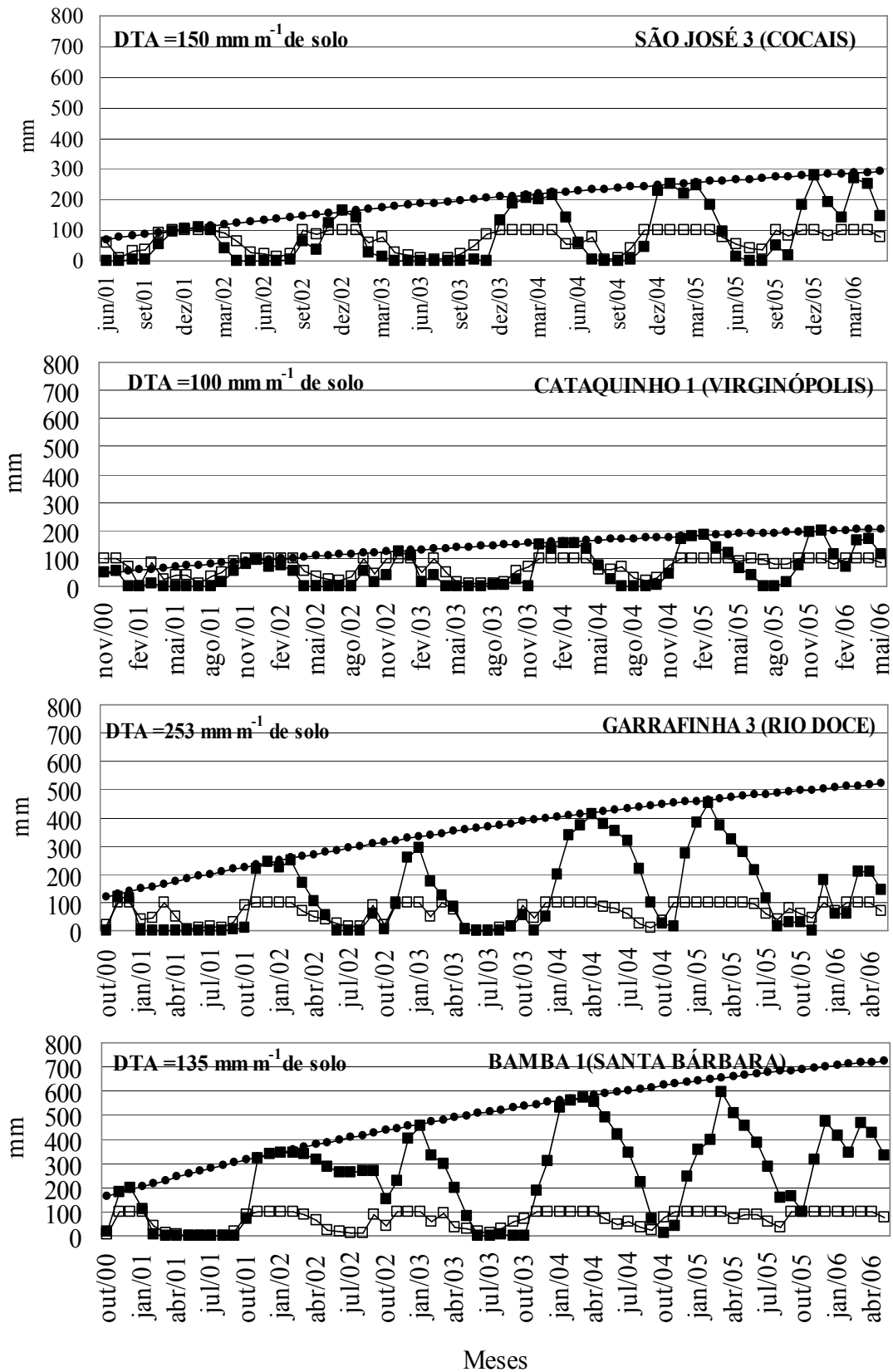


Figura 20\_ Valores mensais do armazenamento de água no solo, para os modelos proposto (ARMPROPOSTO) e original (ARMORIG), e da capacidade de água disponível (CAD) para o modelo proposto, nas quatro regiões estudadas e com a face de exposição norte.

Na Figura 21 é apresentada a variação da profundidade do sistema radicular (PSR) com a idade de plantio. Pode-se notar, nessa figura, que o crescimento da raiz é contínuo durante todo o ciclo do eucalipto.

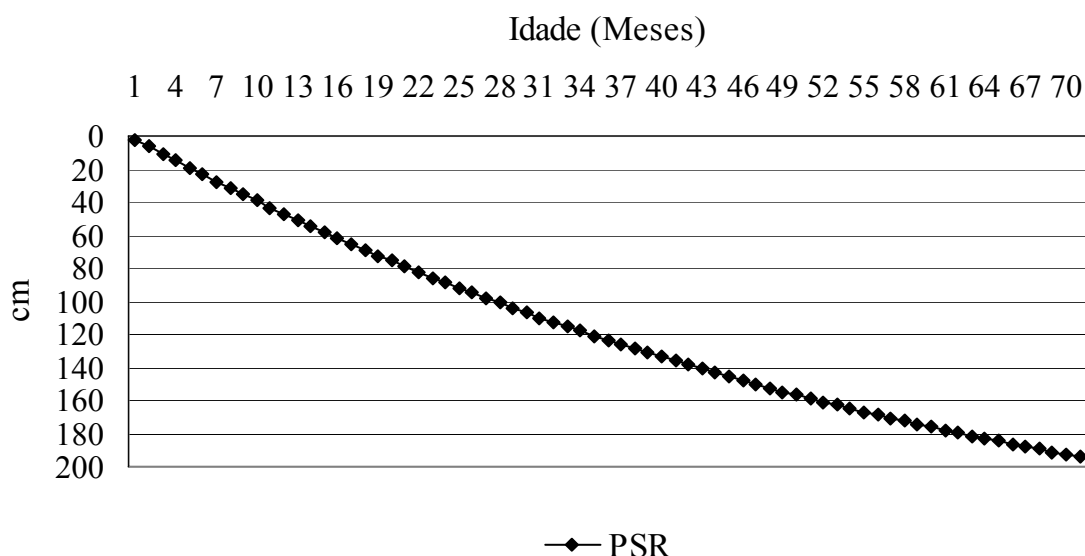


Figura 21\_Variação mensal da profundidade do sistema radicular (PSR) do eucalipto em diferentes idades da planta.

O déficit de pressão de vapor (DPV) tem efeito direto na produtividade, uma vez que altos valores podem causar o fechamento estomático e reduzir, com isso, o crescimento da cultura (ALMEIDA; LANDSBERG, 2003). Pode-se observar, na Figura 22, o comportamento do DPV calculado pelo modelo original (DPVORIG) e pelo modelo proposto (DPVPROPOSTO) para as localidades estudadas.

O modelo original não utiliza a umidade do ar para efetuar o cálculo do DPV, mas o faz apenas considerando as temperaturas máximas e mínimas. O modelo proposto utiliza valores de umidade do ar sendo mais realista, ou seja, emprega valores de temperatura e de umidade relativa na estimativa dessa variável.

Na Figura 22, observam-se as diferenças no DPV estimado pelos dois modelos. O DPV calculado pelo modelo original (DPVORIG) varia de 4,71 a 5,81 mBar, respectivamente para Santa Bárbara e Virginópolis, e de 4,81 mBar a 5,13 mBar para Cocais e Rio Doce.

Os valores de DPV calculados pelo modelo proposto se mostraram maiores nas regiões de menor altitude, onde as temperaturas são mais elevadas, e menores nas regiões altas. Esse fato já foi discutido e corroborado pelo estudo de Souza et al. (2003).

No modelo proposto, Rio Doce é o local que apresenta os maiores valores de DPV, tendo uma média de 7,57 mBar, seguido por Santa Bárbara com 6,76 mBar, Virginópolis com 4,96 mBar e Cocais região de maior altitude, com valor médio de 4,34 mBar.

Em estudos para a região leste do Brasil, Almeida e Landsberg (2003) observaram grandes diferenças de DPV entre regiões próximas da costa e regiões mais distantes; onde o ar era mais seco, essa diferença ocorreu em razão principalmente da umidade do ar proveniente do mar.

Segundo Xue et al. (2004), a condutância estomatal é muito sensível ao DPV, sendo o seu comportamento inversamente proporcional ao do DPV, ou seja, ao aumentar o DPV, ocorre queda na condutância estomatal, também ocasionando variação nas taxas de evapotranspiração. Assim, é desejável, a utilização de valores de DPV calculados como apresenta o modelo proposto.



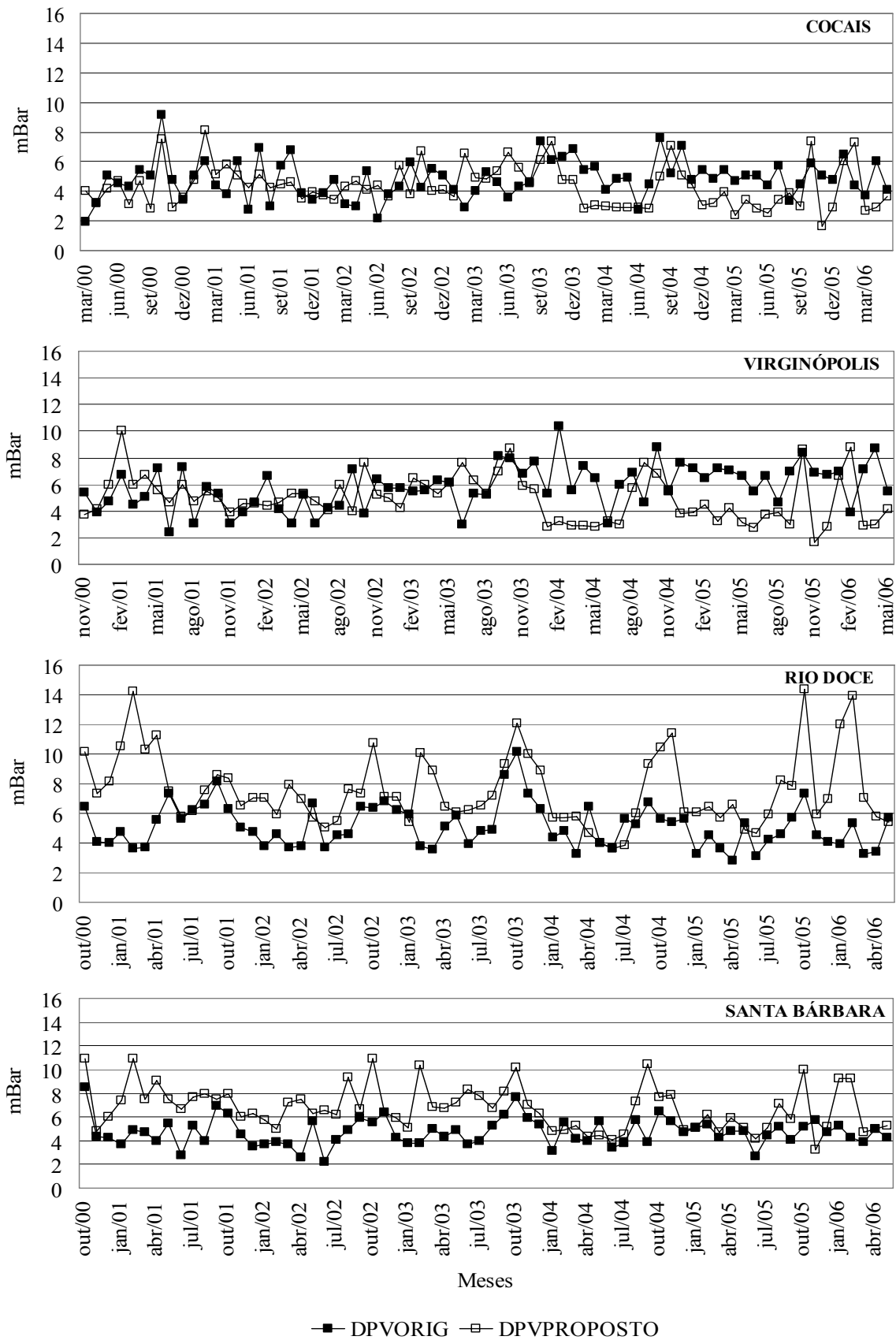


Figura 22 \_Comportamento do déficit de pressão de vapor (DPV) calculado pelos modelos original (DPVORIG) e proposto (DPVPROPOSTO) para as regiões de Cocais, Virginópolis, Rio Doce e Santa Bárbara.

As Figuras 23 a 25 ilustram o comportamento do modificador de água no solo (fSW) e do modificador de déficit de pressão de vapor (fDPV) para os modelos original e proposto nas diferentes regiões estudadas. Nota-se, de forma geral, menor amplitude de variação nos valores de fSW e maiores nos de fDPV para o modelo original, em comparação com o modelo proposto. Observou-se, ainda, que o modelo proposto apresenta, nos períodos secos, menores valores de fSW, enquanto nos úmidos o valor desse fator é máximo ( $fSW = 1$ ) por menos tempo, em comparação com o modelo original. Desta forma nos períodos úmidos a penalização é dada pelo DPV e nos períodos secos pela disponibilidade de água no solo.

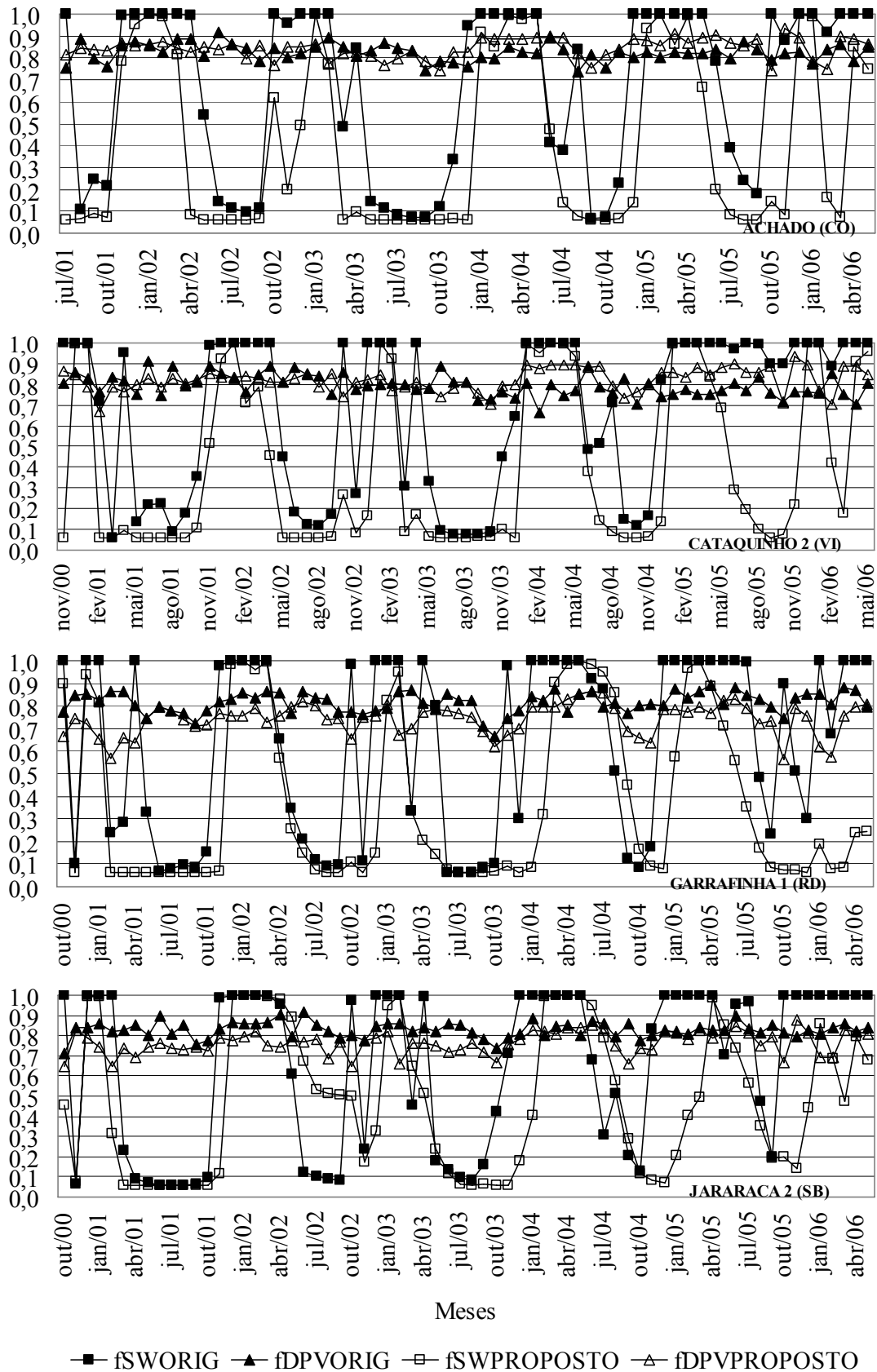


Figura 23\_Modificadores de água no solo (fSW) e de déficit de pressão de vapor (fVPD) calculados pelos modelos original (fSWORIG e fDPVORIG) e proposto (fSWPROPOSTO e fDPVPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o sul.

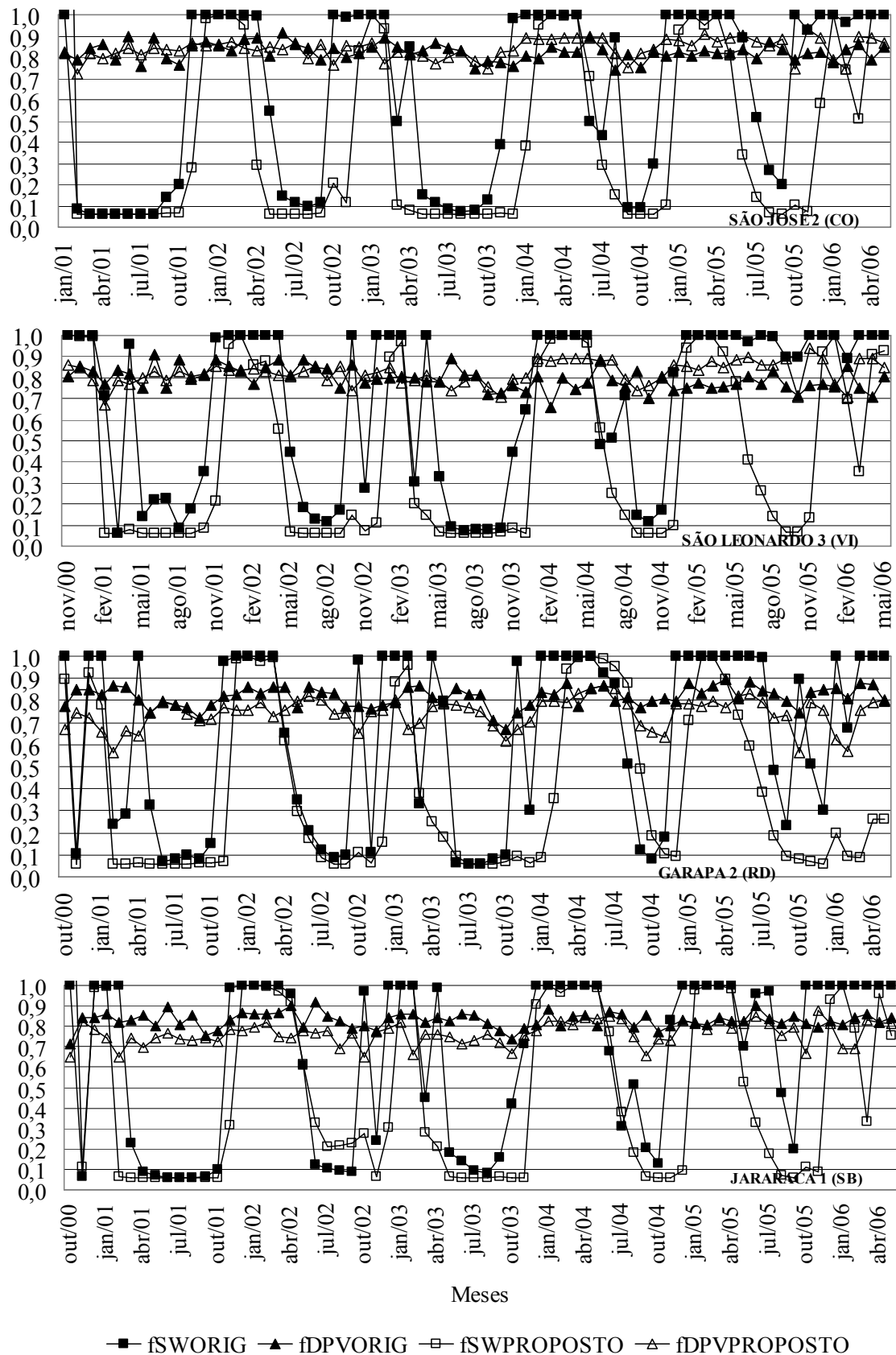


Figura 24\_Modificadores de água no solo (fSW) e de déficit de pressão de vapor (fVPD) calculados pelos modelos original (fSWORIG e fDPVORIG) e proposto (fSWPROPOSTO e fDPVPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para leste-oeste.

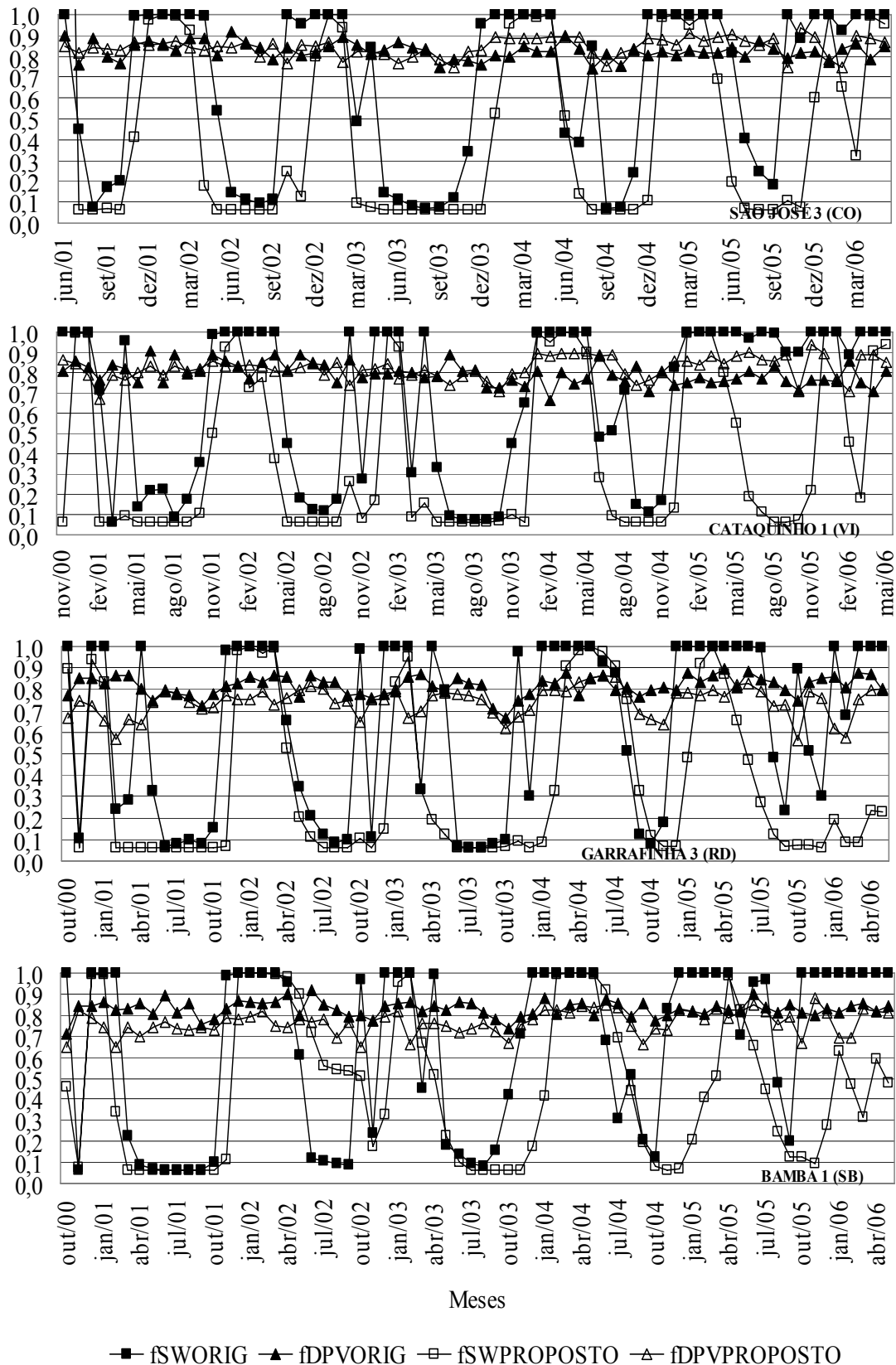


Figura 25\_Modificadores de água no solo (fSW) e de déficit de pressão de vapor (fVPD) calculados pelos modelos original (fSWORIG e fDPVORIG) e proposto (fSWPROPOSTO e fDPVPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o norte.

O Modelo 3-PG, base deste estudo para a estimativa do crescimento dos plantios, tem como importante controlador de crescimento o modificador fisiológico (PhysMod).

O PhysMod trata-se de um penalizador do crescimento das plantas com base na variação do armazenamento de água no solo (fSW) e do valor do déficit de pressão de vapor (DPV). O PhysMod varia entre 0 e 1, obedecendo-se a lei dos mínimos entre fSW e fDPV, que também varia entre 0 e 1, ou seja, prevalece o menor valor entre os dois.

Segundo a lógica do modelo, baixa disponibilidade de água no solo e altos valores de DPV penalizam o crescimento, estando este último, como já mencionado, relacionado ao fechamento estomático e à diminuição das trocas gasosas necessárias à fotossíntese.

Pelos fatos mencionados, como pode ser visto pelas Figuras 26 a 28, observa-se de forma geral, maior penalização ao modelo proposto, dado por menores valores mínimos de Physmod, conferindo mais sensibilidade a este moderador de crescimento em comparação com o modelo original.

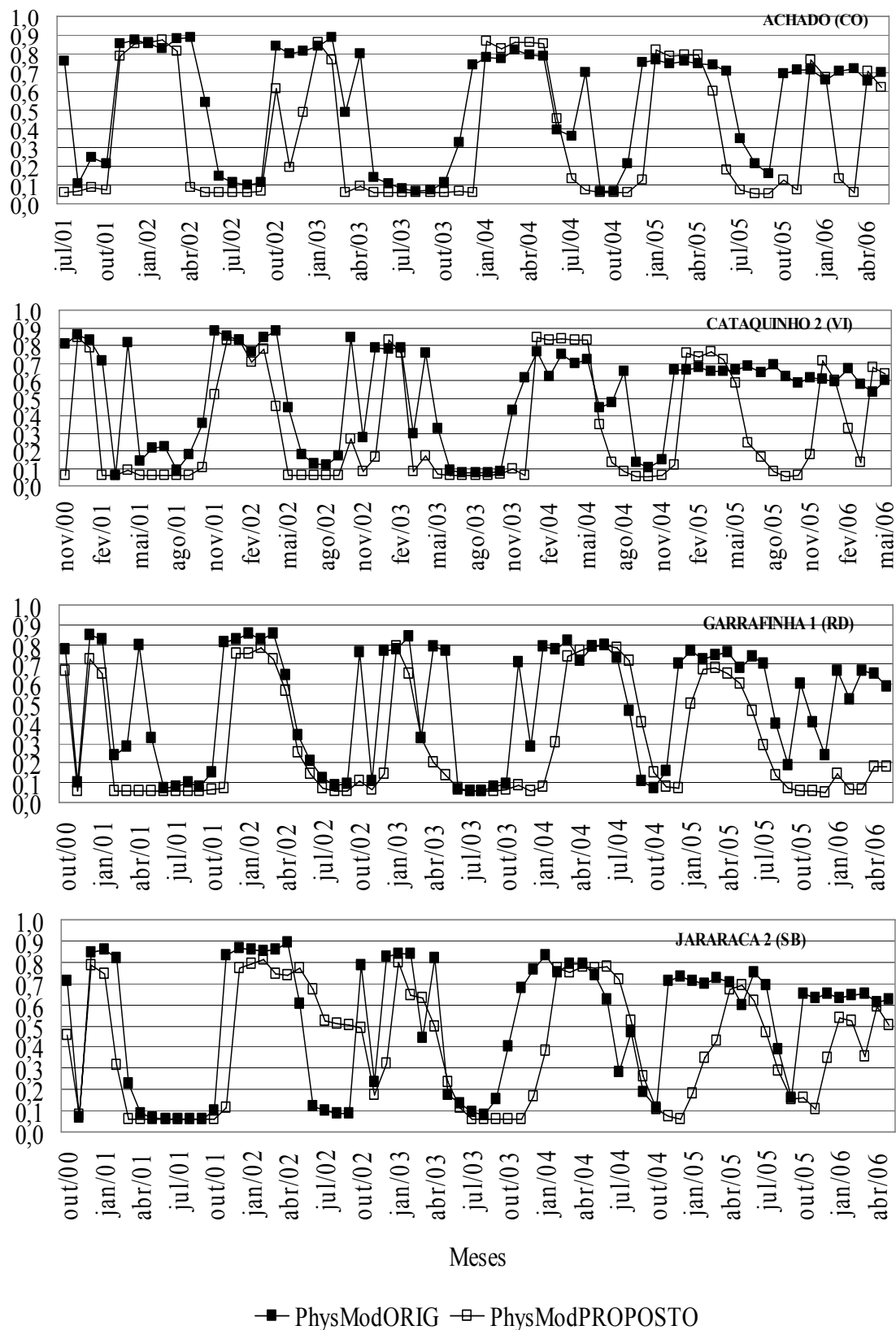


Figura 26\_Modificador fisiológico (PhysMod) calculado pelos modelos original (PhysModORIG) e proposto (PhysModPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o sul.

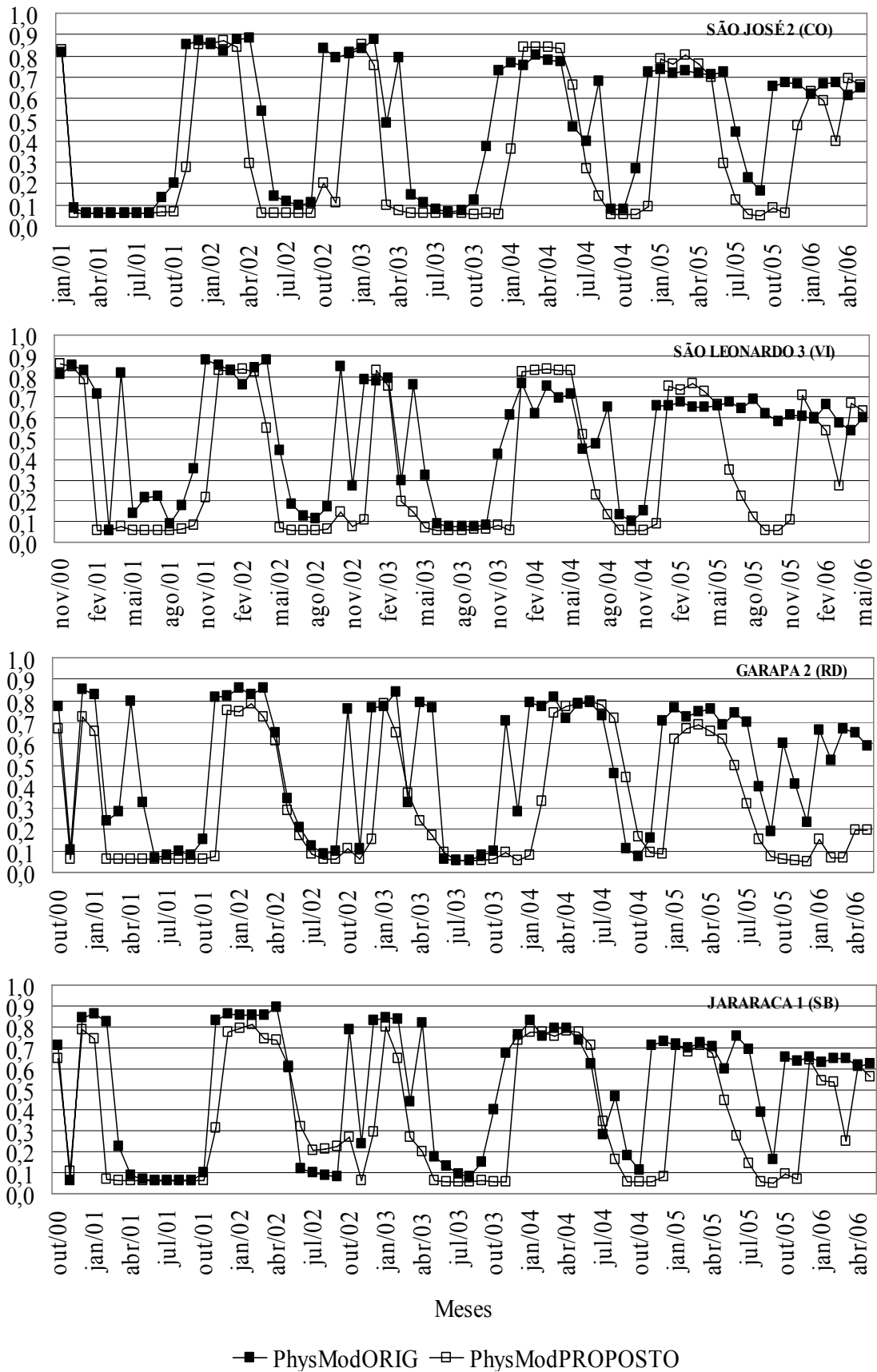


Figura 27\_Modificador fisiológico (PhysMod) calculado pelos modelos original (PhysModORIG) e proposto (PhysModPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para leste-oeste.



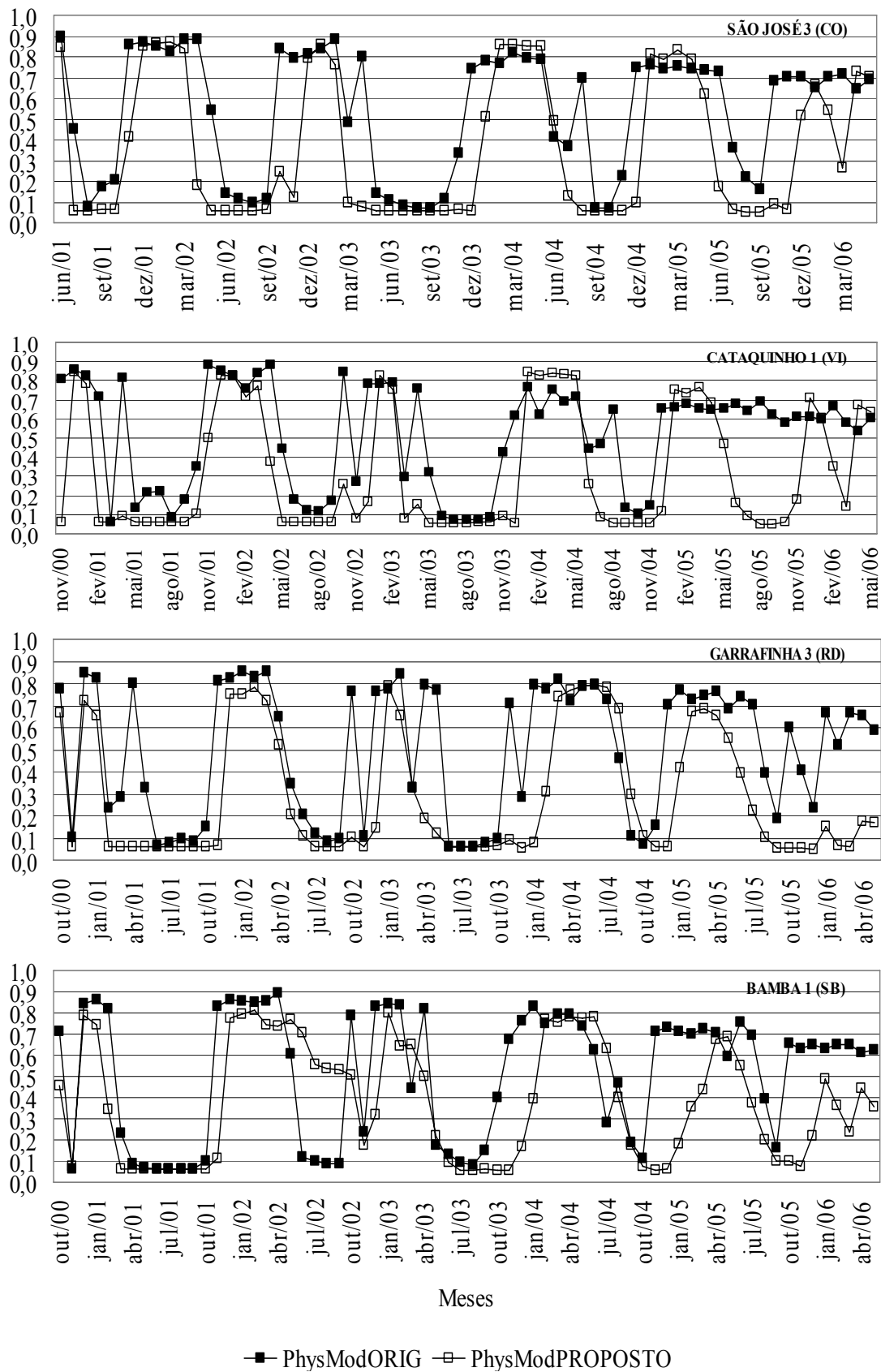


Figura 28\_Modificador fisiológico (PhysMod) calculado pelos modelos original (PhysModORIG) e proposto (PhysModPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o norte.

A eficiência de uso da água (EUA) na produção de madeira por plantios clonais de eucalipto foi analisada nas diferentes regiões estudadas (Figuras 29 a 31). Para isso, foram utilizados totais mensais da produção primária líquida (PPL) e da evapotranspiração (ET, Figura 17), estimada pelos modelos original e proposto.

A EUA pode ser entendida como a eficiência com que a vegetação utiliza água para seu crescimento, ou seja, é a quantidade de matéria seca produzida por unidade de massa de água transpirada.

De maneira geral, verifica-se que a EUA estimada pelo modelo original é maior que a encontrada pelo modelo proposto.

No modelo original, a EUA variou entre 3,9 e 4,48 Kg MS mm<sup>-1</sup>, respectivamente em Santa Bárbara e Cocais, nos seis meses mais secos, e entre 5,70 e 6,90 Kg MS mm<sup>-1</sup>, em Virginópolis e Rio Doce, nos seis meses mais úmidos. Já no modelo proposto a EUA oscilou entre 2,38 e 2,46 Kg MS mm<sup>-1</sup>, respectivamente Santa Bárbara e Virginópolis, nos seis meses mais secos e entre 4,64 e 5,78 Kg MS mm<sup>-1</sup>, em Rio Doce e Cocais, nos seis meses mais úmidos.

Pode-se observar que a EUA diminui nos períodos secos, indicando que a redução verificada da PPL nessa época é proporcionalmente menor que na taxa de evapotranspiração.

A maior EUA observada no modelo original origina-se da limitação nos valores da ET pelo método de estimativa empregado.

Stape (2004), estudando o eucalipto na região de Entre Rios (BA), no nordeste do Brasil, encontrou valores de EUA variando anualmente entre 1,34 e 4,58 Kg MS mm<sup>-1</sup>.

Em estudos da região de Rio Doce e com plantios jovens de até 36 meses de idade, Lessa (2007b) encontrou valores de EUA que variaram entre 1,05 e 6,41 Kg MS mm<sup>-1</sup> nos períodos secos e entre 1,30 e 5,92 Kg MS mm<sup>-1</sup> nos períodos úmidos.

Como pode ser visto pelas Figuras 29 a 31, o modelo proposto nas idades mais jovens de até 24 meses apresenta maiores amplitudes de EUA e também maiores valores médios em todos os projetos, corroborando os resultados obtidos por Lessa (2007b), em que plantios jovens tendem a ter maior eficiência de uso da água.

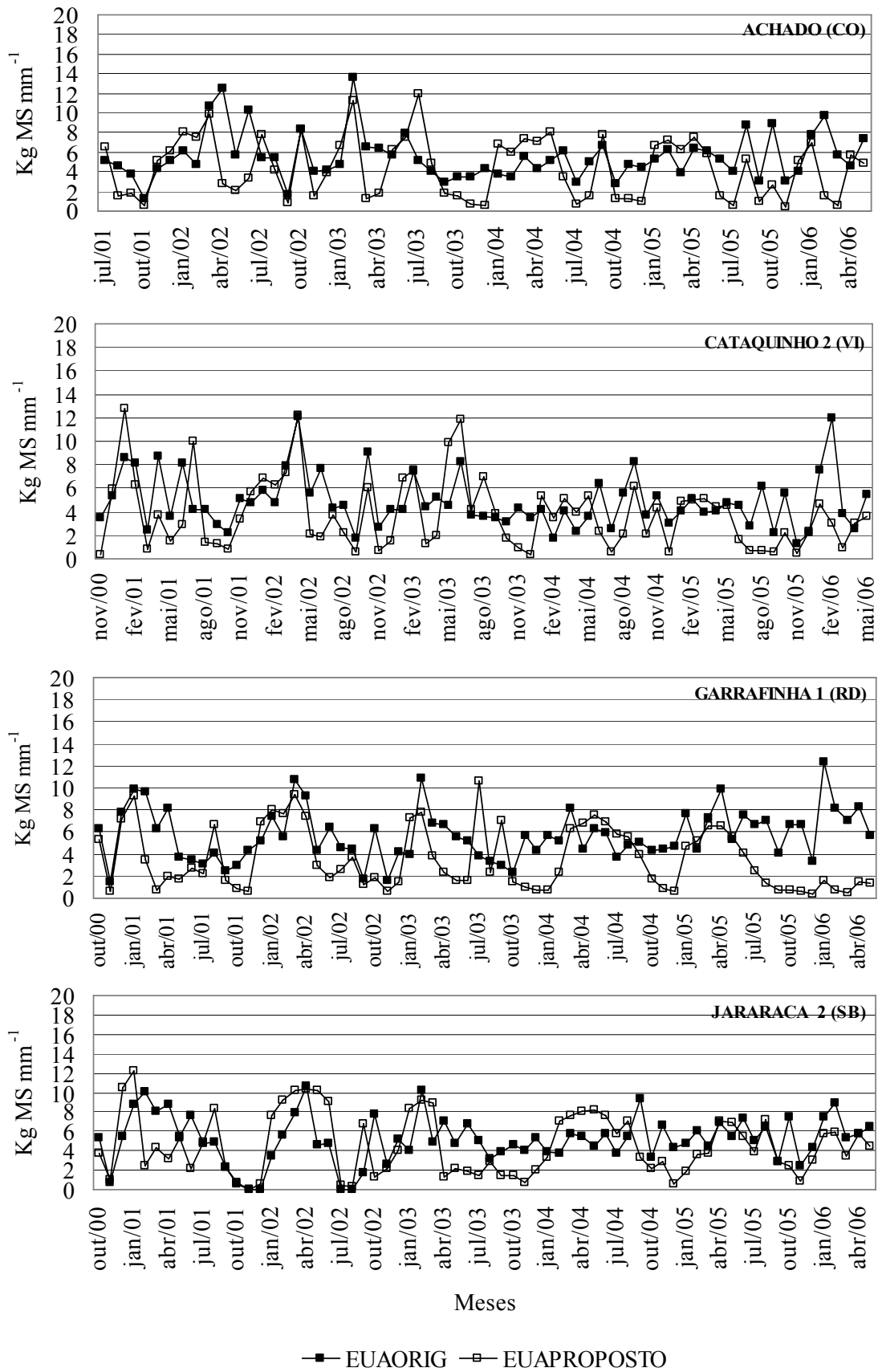


Figura 29\_Eficiência de uso da água (EUA) calculada pelos modelos original (EUAORIG) e proposto (EUAPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o sul.

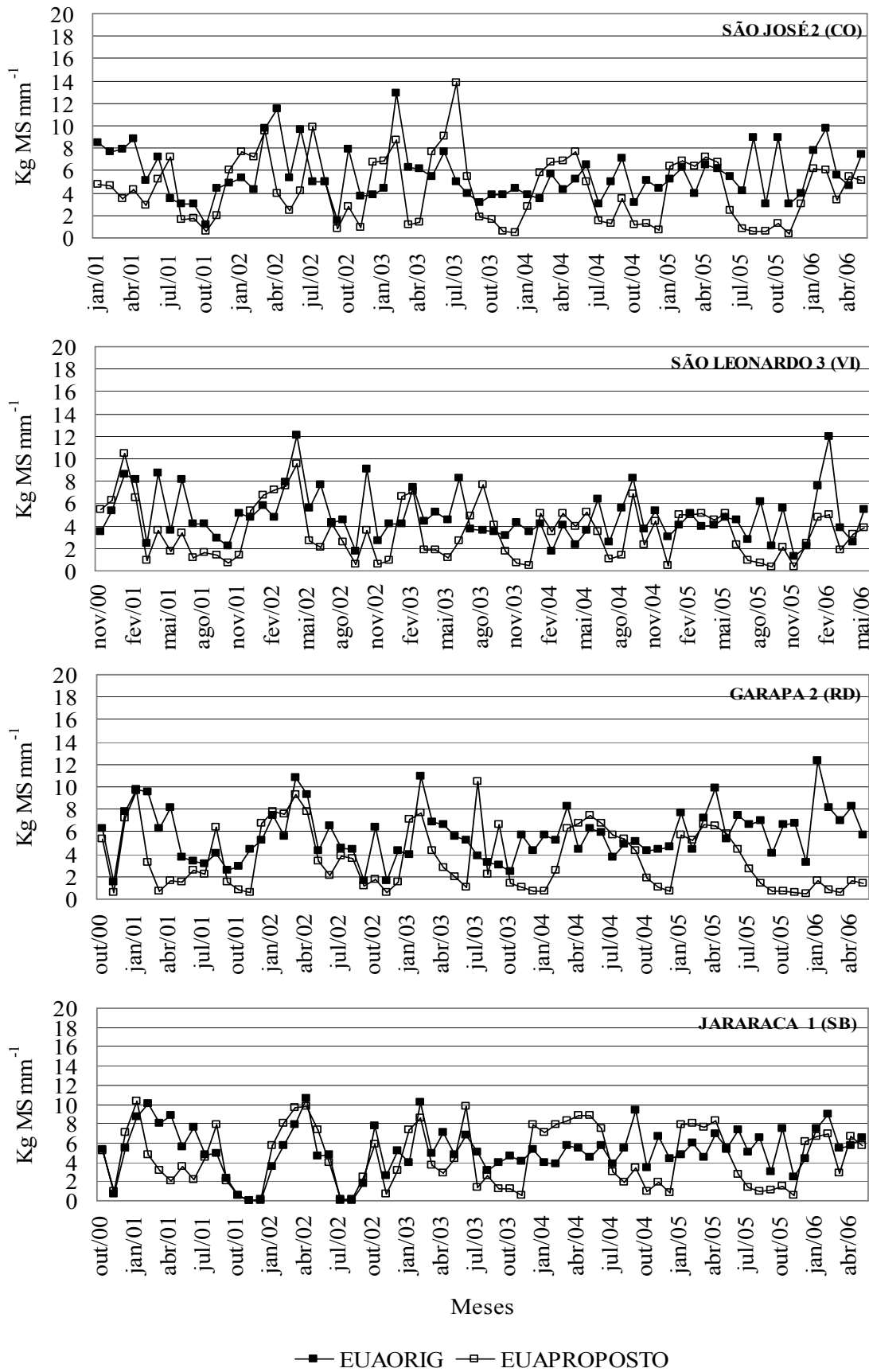


Figura 30\_ Eficiência de uso da água (EUA) calculada pelos modelos original (EUAORIG) e proposto (EUAPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para leste-oeste.

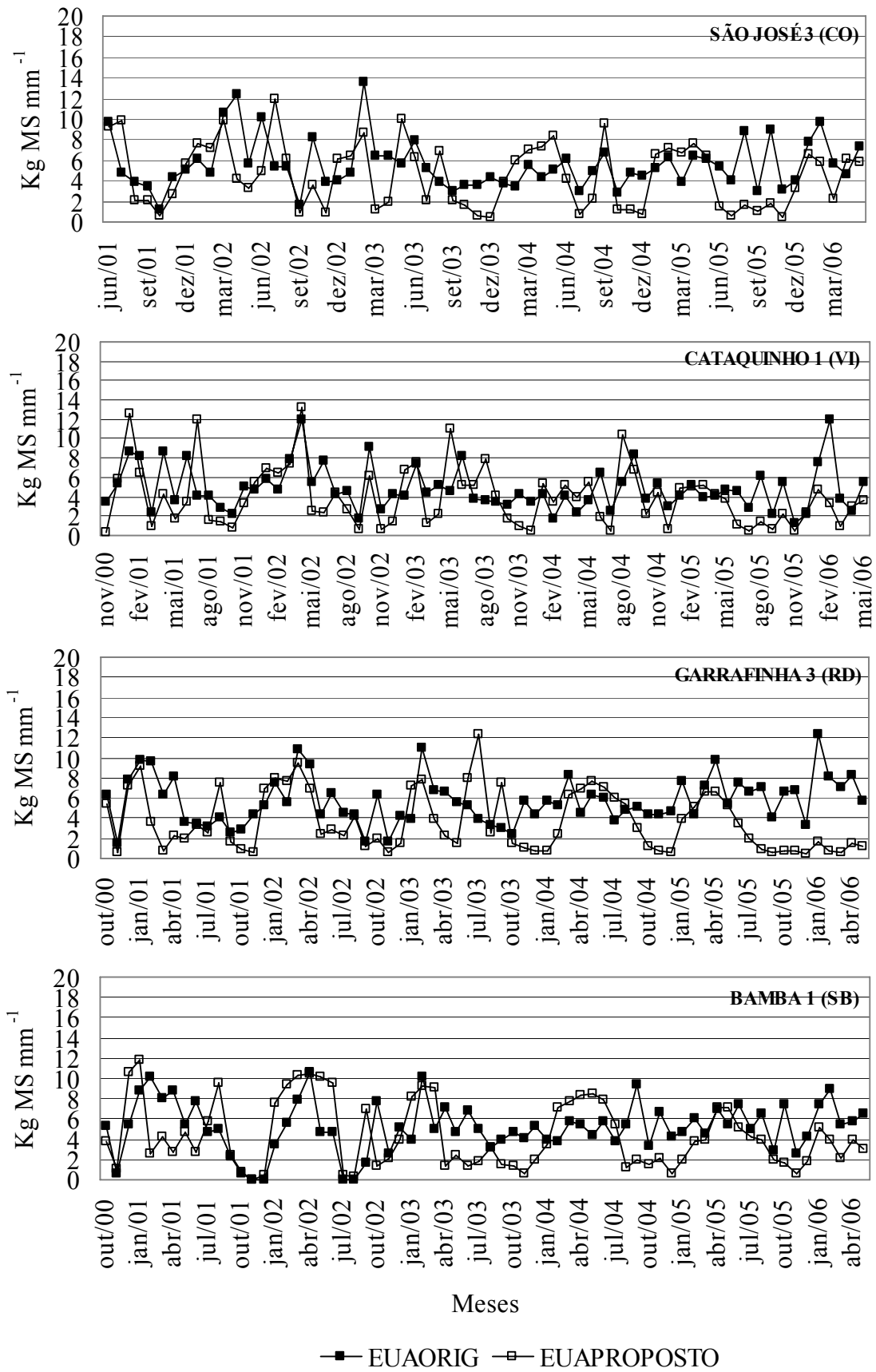


Figura 31\_Eficiência de uso da água (EUA) calculada pelos modelos original (EUAORIG) e proposto (EUAPROPOSTO) para as quatro regiões de estudo, estando a face de exposição voltada para o norte.

Nas Figuras 32 a 34, apresenta-se a variação do IMA com a idade simulada pelos modelos original e proposto para as diferentes localidades estudadas. Nessas figuras são apresentados também os valores de IMA obtidos em inventário florestal (dados observados) nos anos de 2004 e 2005.

São aqui apresentados para análise da variação de IMA três projetos de cada uma das quatro regiões estudadas, referentes a cada face de exposição possível (sul, plana e norte), projetos esses que caracterizam as diferentes regiões de estudo. Como mencionado anteriormente, para que fosse possível a comparação do IMA procurou-se escolher projetos com a mesma idade de plantio, sendo isso possível em todas as regiões, com exceção de Cocais, em que foram utilizados plantios com idade de no máximo até oito meses de diferença.

De maneira geral, verifica-se um melhor ajuste dos dados simulados pelo modelo proposto com os valores reais em comparação com o original, como já foi destacado no estudo das correlações.

Verifica-se ainda, de maneira geral, que o ganho de volume de madeira simulado pelo modelo original ocorre até a idade de três anos, tendendo a permanecer estabilizado a partir dessa idade. Isso não condiz com o que acontece na realidade, podendo-se ver significativo ganho de biomassa em idades mais avançadas. Em estudo realizado na mesma região, Souza et al. (2006a) verificaram, em concordância com os dados apresentados, existirem ganhos de volume entre 3 e 5 anos de idade.

Pôde ser notado que, dentre as regiões estudadas, Santa Bárbara foi a região que apresentou a maior produção de madeira. Como discutido anteriormente, essa é a região com maior DTA e onde foram observados os maiores totais de chuva anuais, fatos esses que ajudam a explicar essa sua maior produtividade.

Em estudos na regional de Guanhães, a qual pertence à região de Virginópolis, Souza et al. (2006a) verificaram que a produtividade era altamente dependente do total precipitado durante a estação chuvosa e que a resposta da taxa de crescimento dependia da condição hídrica do solo no ano anterior. Dois fatos adicionais ajudam a explicar o maior ganho de biomassa em Santa Bárbara. O primeiro refere-se ao fato dessa região ser a que, dentre todas as estudadas, tem a segunda maior disponibilidade de radiação solar para fotossíntese. O segundo fator refere-se ao fato de Santa Bárbara encontrar-se a uma altitude média de 847 m de altitude, o que confere temperaturas mais amenas durante a noite, indicando que a respiração de manutenção é menos intensa do que, por exemplo, em Rio Doce, que se encontra a uma altitude de 240 m de altitude.

Outro fator que pode ser observado é em relação à face de exposição da rampa, como mostrado pelas Figuras de 32 a 34, em que as rampas voltadas para o norte (Figura 34) tendem, na maioria dos casos, a ter maior produtividade, excetuando-se a região de Virginópolis, onde a produtividade foi maior na área plana (Figura 33), em que outros recursos naturais superam o de energia.

Verifica-se que a melhoria no balanço hídrico pela consideração do crescimento radicular (variação do CAD com a idade), do DTA do solo e mudança no “time step” do modelo proposto, parece conferir maior sensibilidade às variações sazonais entre o período seco e úmido e o ganho exponencial do crescimento com a idade. Por este motivo os dados simulados pelo modelo proposto ganharam melhor sensibilidade às flutuações dos dados observados.

Santana (1986) e Teixeira (1987), citados por Menezes (2005), em estudos das mesmas regiões verificaram maiores produtividades de eucalipto nas posições de topo do que de baixada. Segundo eles isso se deve às boas características físicas do solo no topo, permitindo maior aprofundamento do sistema radicular e maior armazenamento de água, apesar da baixa fertilidade, enquanto na baixada o crescimento foi menor em razão da dificuldade da drenagem, embora a fertilidade natural fosse superior.

Rio Doce, por ser o local de menor altitude, apresenta as maiores temperaturas (Figura 4) e, conseqüentemente, maior demanda evapotranspirativa. Portanto, apresenta os maiores valores de déficit de pressão de vapor (DPV) (Figura 6) e, conseqüentemente, menores valores de condutância estomática (gs). Dessa forma, a menor condutância estomática e o maior gasto de energia com a respiração, em Rio Doce, e a menor quantidade de chuva recebida por Virginópolis (Figura 5) são subsídios para explicar a ocorrência de menor biossíntese nessas regiões.

Stape e Gomes (1996), em estudos sobre a influência dos estresses hídricos e nutricionais no crescimento de plantios de eucaliptos no Nordeste do Brasil, observaram que os valores dos incrementos médios anuais (IMA) variaram bastante, sendo superiores nos locais com maior precipitação. Segundo eles isso ocorreu devido à grande variabilidade nos totais de precipitação na região estudada (800 a 1.700 mm anuais), além da baixa variação de altitude desses locais (60 a 330 m), sendo que a altitude influencia diretamente a temperatura do local e, por conseqüência, a demanda evaporativa.

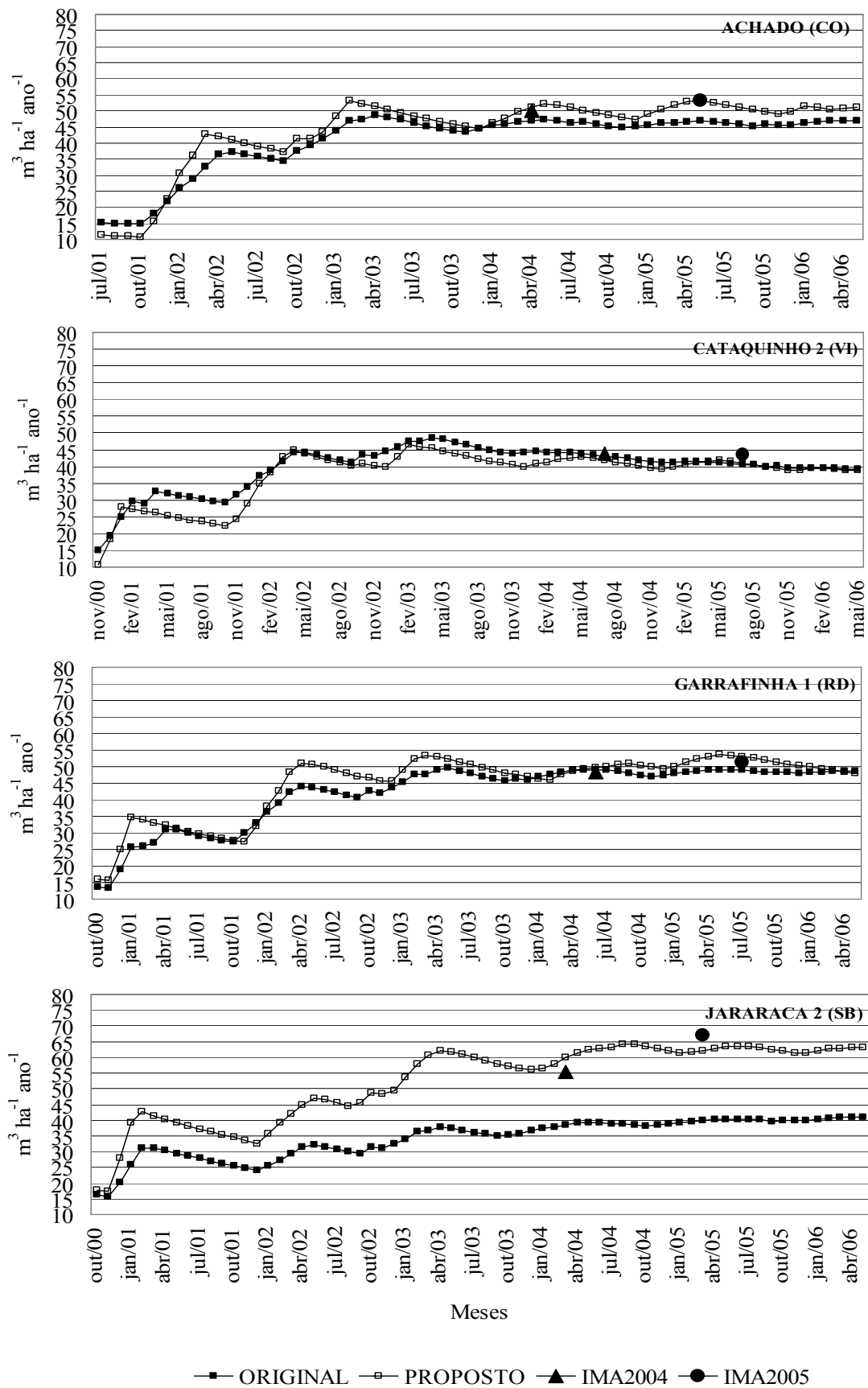


Figura 32\_ Incrementos médios anuais simulados e observados (IMA2004 e IMA2005) na face de exposição sul para regiões de Cocais (CO), Virginópolis (VI), Rio Doce (RD) e Santa Bárbara (SB).



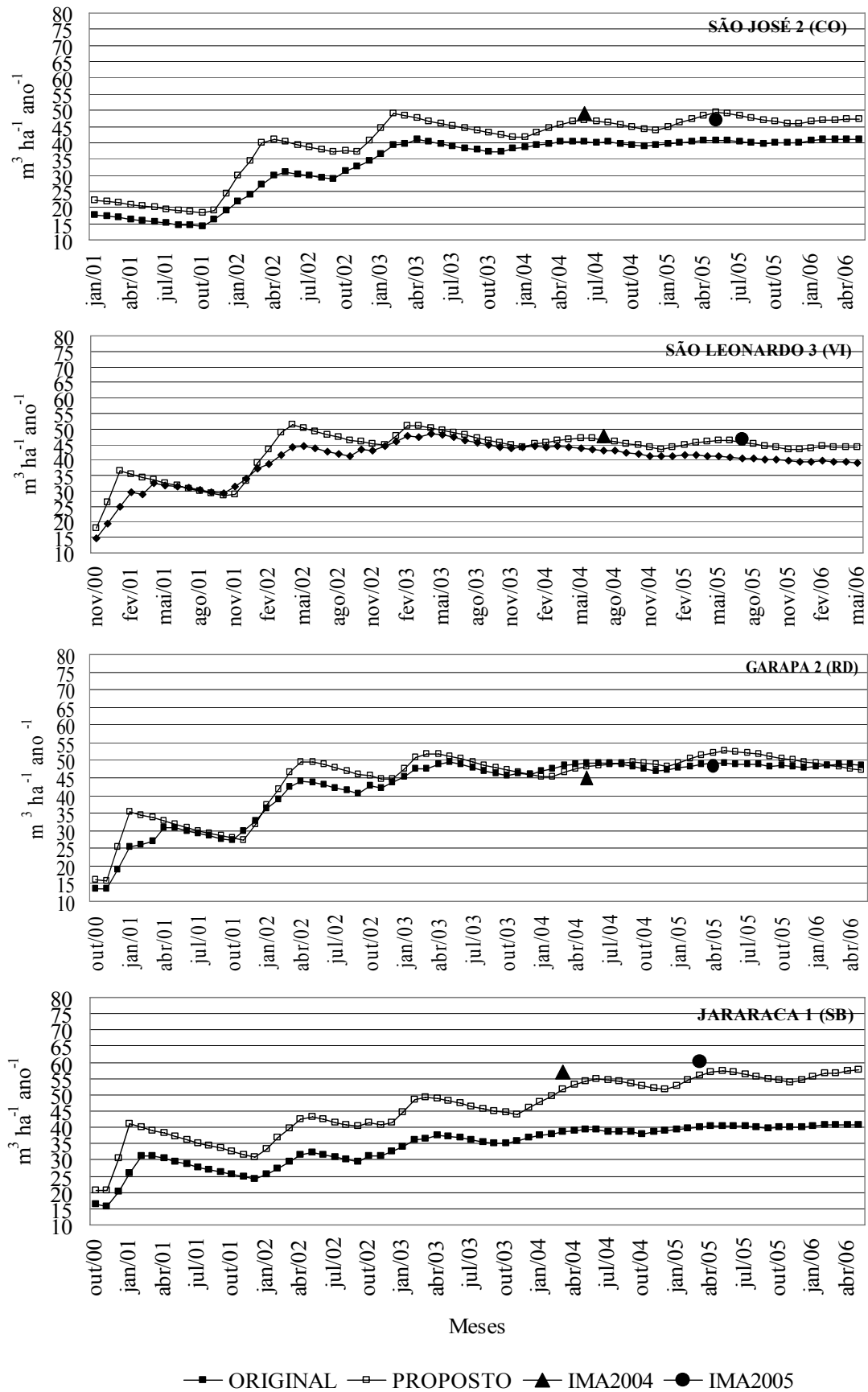


Figura 33 Incrementos médios anuais simulados e observados (IMA2004 e IMA2005) na face de exposição leste – oeste (plano) para regiões de Cocais (CO), Virginópolis (VI), Rio Doce (RD) e Santa Bárbara (SB).

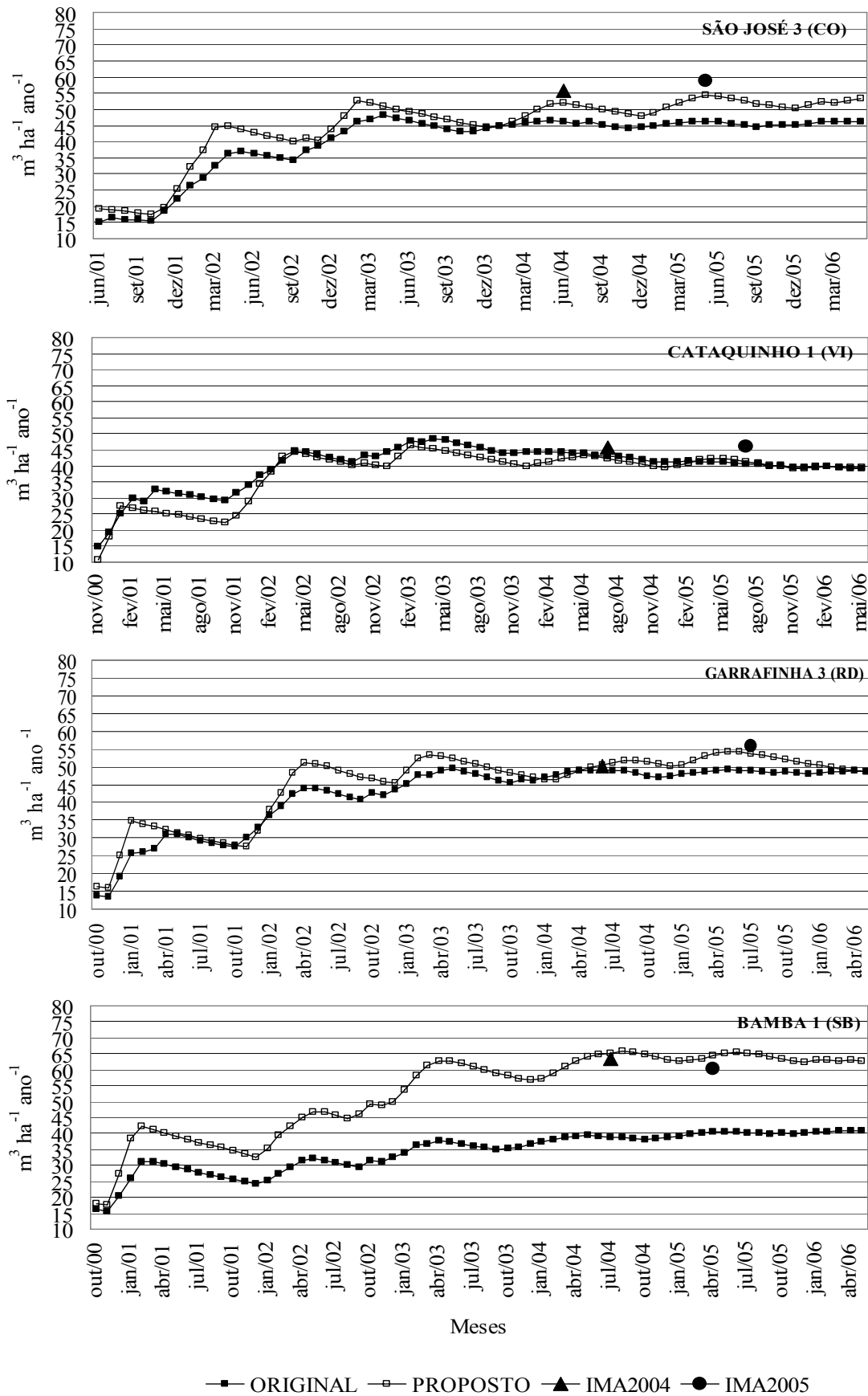


Figura 34\_Incrementos médios anuais simulados e observados (IMA2004 e IMA2005) para face de exposição norte para regiões de Cocais (CO), Virginópolis (VI), Rio Doce (RD) e Santa Bárbara (SB).

No quadro 7 são apresentados o desvio padrão (DESVPA), a média e o coeficiente de variação (CV) do Incremento Médio Anual (IMA) para as regiões de Cocais, Rio Doce, Santa Bárbara e Virgíópolis nos anos de 2004 e 2005 para o IMA observado, e estimado pelos modelos original e proposto. Verifica-se que ocorre uma maior diferenciação no coeficiente de variação para os dados observados, sendo maior nas regiões de Rio Doce e Virgíópolis, com valores de CV acima de 20. Já no modelo original ocorre uma menor diferenciação com destaque para a região de Santa Bárbara. O modelo proposto apresenta maiores valores de coeficiente de variação quando se compara com o modelo original, o que era de se esperar, uma vez que o modelo proposto apresentou melhor ajuste de coeficiente de determinação (Figuras 13 a 16) e conseqüentemente maior sensibilidade após as modificações efetuadas.

Quadro 7\_ Desvio padrão (DESVPA), média e coeficiente de variação (CV) para o IMA observado, e estimado pelos modelos original e proposto para as regiões estudadas.

	OBSERVADO	ORIGINAL	PROPOSTO	OBSERVADO	ORIGINAL	PROPOSTO
<b>COCAIS</b>	<b>2004</b>	<b>2004</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2005</b>	<b>2005</b>
DESVPA	7,09	4,11	5,30	7,23	3,96	5,47
MÉDIA	49,59	40,84	45,85	51,01	41,04	47,93
CV	14,29	10,07	11,56	14,17	9,66	11,40
<b>RIO DOCE</b>						
DESVPA	8,96	5,74	9,57	7,77	2,99	5,23
MÉDIA	40,55	45,72	44,17	45,11	48,32	52,50
CV	22,09	12,55	21,67	17,23	6,18	9,96
<b>SANTA BÁRBARA</b>						
DESVPA	6,52	0,85	4,92	4,81	1,08	2,96
MÉDIA	56,33	38,69	58,47	60,24	40,53	61,11
CV	11,58	2,21	8,42	7,98	2,66	4,85
<b>VIRGÍÓPOLIS</b>						
DESVPA	11,28	3,99	6,38	10,80	3,15	5,44
MÉDIA	43,03	39,98	41,08	45,91	38,67	41,73
CV	26,20	9,98	15,52	23,52	8,15	13,02

## 5. CONCLUSÕES

Regiões com maior disponibilidade de radiação de ondas curtas, desconsiderando-se outros fatores limitantes, tendem a ter maior produtividade. A face de exposição e o ângulo de inclinação do terreno, no que se refere ao maior ou menor ganho de radiação pela superfície vegetal, tendem a influir na diferenciação de produtividade entre locais em microescala. Assim, estudos de modelagem devem prever o ajuste das irradiâncias solar global e fotossinteticamente ativa obtidas na estação meteorológica, segundo o relevo do terreno.

O balanço hídrico calculado em escala horária, considerando-se o DTA do solo e a variação da profundidade do sistema radicular com a idade da floresta, mostrou-se útil na melhora da estimativa do ganho de biomassa pelo eucalipto. Essa modificação parece ajustar, de forma importante, a sazonalidade (períodos seco e úmido do ano) do ganho de volume de madeira em escala mensal.

A melhora no tratamento das forçantes de crescimento de plantios de eucalipto, como déficit de pressão de vapor de água atmosférico, balanço de água no solo e irradiância solar, deve ser buscada, uma vez que se verificou, na bacia do rio Doce, uma tendência de localidades com menor DPV e maiores disponibilidades de água no solo e de radiação solar serem as mais produtivas.

Verificou-se que as alterações no modelo de crescimento proposto permitiram uma melhora no tratamento dos processos, de forma que a ferramenta computacional de simulação se mostra capaz de diferenciar a produtividade não apenas entre diferentes regiões, como já fazia o modelo original, mas permite diferenciação intra-regiões. Assim o modelo preconizado deixa de ser uma ferramenta apenas para planejamento estratégico, ganhando característica de uso para manejo florestal.

## 6.0. REFERÊNCIAS

ABER, J.D.; FEDERER, C.A. A generalised, lumped-parameter model of photosynthesis, evapotranspiration and net primary production in temperate and boreal forest ecosystems. Oecologia, v. 92, p. 463-474,1992.

ALBIZZATI, E. Radiación solar diaria promedio mensual sobre superficies inclinadas calculada con modelos isotrópicos y anisotrópico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. v. 5, 2001.

ALLEN, R. G.; HOWELL, T.A.; PRUITT, W.O.; WALTER, I.A.; JENSEN, M.E. Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements. ASCE, Honolulu, Hawaii, 1991. 444p.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage. Paper 56. UN-FAO, Rome, Italy, 1998. 300p.

ALMEIDA, A.C.; LANDSBERG, J.J. Evaluating methods of estimating global radiation and vapor pressure deficit using a dense network of automatic weather stations in coastal Brazil. Agricultural and Forest Meteorology, v. 118, p. 237-250, 2003.

ALMEIDA, A.C.; LANDSBERG, J.J.; SANDS, P.J. Parameterisation of 3-PG model for fast-growing *Eucalyptus grandis* plantations. Forest Ecology and Management, v.193, p.179-195. 2004.

ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre uso de água em plantações de *eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (mata atlântica) na costa leste do Brasil. R. Árvore, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 159-170, 2003.

AZEVEDO, P.V. de; TEIXEIRA, A.H. de C.; SILVA, B.B. da; SOARES, J.M.; SARAIVA, F.A.M. Avaliação da reflectância e do saldo de radiação sobre um cultivo de videira européia. Rev. Bras. Agrometeorologia, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 1-7, 1997.

BALIEIRO, F.C. Nutrientes na água de chuva e na biomassa na monocultura e consórcio de *Acacia mangium* Willd., *Pseudosamanea guachapele* Dugand e *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. Viçosa, MG: UFV, 1999. 99f. Dissertação (Mestrado em ciência florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BARLOW, E.W.R. Water relations of the mature leaf. In: Dale JE, Milthorpe, FL (Eds). The growth and functioning of leaves. Cambridge: University Press, 1983. p. 315-345.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, E.C. Manual de irrigação. 8. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 625p.

BRUTSAERT, W. Evaporation into the atmosphere. London, D. Reidel Pub. Co., 1982. 299 p.

CALDER, I.R. Water use of *Eucalyptus* – a review. In: CALDER, I.R.; HALL, R.L.; ADLAND, P.G. (Eds.). INT. SYMP., Growth and water use of forest plantations. Bangalore, India. Proceedings... Wiley, Chichester, England, 1991.

CASTELLVI, F.; PEREZ, P.J.; STOCKLE, C.O.; IBAIEZ, M. Methods for estimating vapor pressure deficit at depending on data availability a regional scale. Agricultural and Forest Meteorology, v. 87, p. 243-252, 1997.

CHAUBEY, I.; HANN, C.T.; GRUNWALD, S.; SALISURY, J.M. Uncertainty in the model parameters due to spatial variability of rainfall. Journal of Hydrology, v. 220, p. 48-61, 1999.

CINTRA, A.T. de F. Entradas atmosféricas de nutrientes e poluentes em um ecossistema florestal urbano, Maciço da Pedra Branca – RJ. Dissertação (Mestrado) – Pontifício Universidade Católica, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: PUC, 2004. 133f.

CLARK, D.A. Sources or sinks? The responses of tropical forests to current and future climate and atmospheric composition. Philosophical Transactions of The Royal Society of London, v. 359, n. 1443, p. 477-491, 2004.

CORREIA, F.W.S. Estudo do Balanço de Radiação em Área de Policultivo na Amazônia. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. 137 p.

CUNNINGHAM, S.C. Effects of vapour pressure deficit on growth of temperate and tropical evergreen rainforest trees of Australia. Acta Oecologica, v. 30, p. 399-406, 2006.

D'ANGIOLELLA, G.; VASCONCELLOS, V.L.D.; ROSA, J.W.C. Estimativa e espacialização do balanço hídrico na mesorregião sul da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia, Brasil. Anais... Goiânia, GO, 16-21 abril 2005, p. 83-90.

DYE, P.J. Estimating water use by *Eucalyptus grandis* with the Penman-Monteith equation. In: SWANSON, R.H.; BERNIER, P.Y.; WOODWARD, P.D. (Eds.). VANCOUVER SYMPOSIUM, INTERNATIONAL ASSOCIATION OF HYDROLOGIC SCIENCES PUBLICATION – Forest hydrology and watershed management. 167., 1987, Vancouver, p. 329-337. Proceedings... Vancouver, 1987.

FACCO, A.G. 2004. Modelagem e simulação geospacial da variação dos componentes do balanço hídrico para plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado na bacia do rio doce, Minas Gerais. Viçosa, MG: UFV, 2004. 89f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

FACCO, A.G.; RIBEIRO, A.; SEDIYAMA, G.C.; LEITE, F.P.; BARROS, N.F. 2007. Saldo de radiação em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado. Revista Árvore, viçosa, MG, 2007. No prelo.

GÓMEZ, J.A.; GIRÁLDEZ, J.V.; FERERES, E. Rainfall interception by olive trees in relation to leaf área. Agricultural Water Management, v 49, p. 65-76, 2001.

GALVANI, E. Coeficiente de reflexão obtido a partir de diferentes metodologias. In CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2002, Foz de Iguaçu. Anais...Foz de Iguaçu-PR, 2002.

GASH, J.H.C. An analytical model of rainfall interception by forests. Q.J.R. Meteorol. Soc., v. 105, p. 43-55, 1979.

- HASHINO, M.; YAO, H.; YOSHIDA, H. Studies and evaluations on interception processes during rainfall based on a tank model. Journal of Hydrology, v. 255, p.1-11, 2002.
- INOUE, M.T.; RIBEIRO, F.A. Fotossíntese e transpiração de clones de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*. IPEF, n. 40, p. 15-20, dez. 1988.
- IQBAL, M. 1978. Hourly vs daily method of computing isolation on inclined surfaces. Solar Energy, v. 21, p. 485-489, 1978.
- IQBAL, M.. 1983. An introduction to solar radiation. Toronto: Academic Press, 1983.
- JARVIS, P.G.; MACNAUGHTON, K.G. Stomatal control of transpiration: scaling up from leaf to region. Advances in Ecological Research, Academic Press, v. 15, p. 1-49, 1986.
- KADER, A.A. Respiration and gas exchange of vegetables. In: WEICHMANN, J (Ed.). Postharvest physiology of vegetables. New York: Marcel Dekker, 1987. p. 25-43.
- KALLARACKAL, J.; SOMEN, C.K. An ecophysiological evaluation of the suitability of *Eucalyptus grandis* for planting in the tropics. Forest Ecology and Management, v. 95, p. 53-61, 1997.
- LANDSBERG, J.J.; GOWER, S.T. Applications of physiological ecology to forest management. San Diego, CA: Academic Press, 1997. 354 p.
- LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. Forest Ecology and Management, v. 95, p. 209-228, 1997.
- LARCHER, W. Ecofisiologia Vegetal. São Carlos, SP: Editora Rima, 2000. 531 p.
- LESSA, R.C.C. Variação sazonal da condutância estomática e da transpiração em plantios jovens de eucalipto em regiões tropicais. Revista Árvore, 2007a. article in press.
- LESSA RCC. 2007b. Eficiência do uso da água em plantios jovens de eucalipto na bacia do Rio Doce em regiões tropicais. Revista Árvore, viçosa, MG, 2007. No prelo.
- LIMA, F.Z. Desenvolvimento e avaliação de modelos de irradiância solar difusa para Viçosa - MG. Viçosa, MG: UFV, 1996b. 68f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LIMA, P.R. de A.; LEOPOLDO, P.R. Interceptação de chuva por Mata Ciliar na Região Central do Estado de São Paulo. Energia na Agricultura, v. 14, n. 3, p. 25-35, 1999.
- LIMA, W.P. Impacto ambiental do eucalipto. São Paulo: UFSCar, 1996a.
- LOVEYS, B.R.; ATKINSON, L.J.; SHERLOCK, D.J.; ROBERTS, R.L.; FITTER, A.H.; ATKIN, O.K. Thermal acclimation of leaf and root respiration: an investigation comparing inherently fast- and slow-growing plant species. Global Change Biology, v. 9, n. 6, p. 895-910, 2003.

MACKAY, D.S.; AHL, D.E.; EWERS, B.E.; SAMANTA, S.; GOWER, S.T.; BURROWS, S.N. Physiological tradeoffs in the parameterization of a model of canopy transpiration. Advances in Water Resources, v. 26, n. 2, p. 179–194, 2003.

MAESTRI, R. Modelo de crescimento e produção implícito para povoamentos de híbridos naturais de *Eucalyptus grandis* baseado em variáveis do ambiente e do povoamento. Curitiba: UFPR, 2003. 143f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MATSUMOTO, K.; OHTA, T.; TANAKA, T. Dependence of stomatal conductance on leaf chlorophyll concentration and meteorological variables. Agricultural and Forest Meteorology, v. 132, p. 44-57, 2005.

MEIR, P.; GRACE, J.; MIRANDA, A.C. Leaf respiration in two tropical rainforests: constraints on physiology by phosphorus, nitrogen and temperature. Functional Ecology, v. 15, n. 3, p. 378-387, 2001.

MENEZES, A.A. Produtividade do eucalipto e sua relação com a qualidade e a classe de solo. Viçosa, MG: UFV, 2005. 98f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa..

MIELKE, M.S.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F.; PENCHEL, R.M.; MARTINEZ, C.A.; ALMEIDA, A.C. Stomata control of transpiration in the canopy a clonal *Eucalyptus grandis* plantation. Trees, v. 13, p. 152-160, 1999..

MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: SYMPOSIA OF THE SOCIETY FOR EXPERIMENTAL BIOLOGY, 19., 1965, Cambridge. Anais...Cambridge: University Press, 1965. p. 205-234.

NEVES, J.C.L. 2000. Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantios clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo. Campo dos Goytacazes, RJ: UENF, 2000.191f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

NOORDWIJK, M.V.; LAWSON, G.; SOUMARÉ, A.; GOOT, J.J.R.; HAIRIAH, K. Root distribution of trees and crops: competition and/or complementarity. In: ONG, C.K.; HUXLEY, P. Tree-crop interaction – A physiological approach. Walling Ford, Cab. Int., 1996. p. 319 - 363p.

PAIVA, A.S.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T.J.D.; TURCO, J.E.P. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 161-169, jan./abr., 2005.

PARTON, W.J.; SCURLOCK, J.M.O.; OJIMA, D.S.; GILMANOV, T.G.; SCHOLS, R.J.; SCHIMEL, D.S.; KIRCHNER, T.; MENAUT, J.; SEASTEDT, T.; GARCIA MOYA, E.; KAMNALRUT, A.; KINYAMARIO, J.I. Observations and modeling of biomass and soil organic matter dynamics for the grassland biome worldwide. Global Biogeochem. Cycles, v. 7, p. 785 - 809, 1993.



ROSA, D.J. de M. Caracterização da radiação solar: o caso da cidade universitária/USP e da ilha do Cardoso/Cananéia. São Paulo: PIPGE/USP, 2003. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo.

RUTTER, A.J.; KERSHAW, K.A.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forest. I. Derivation of the model from observation in a plantation of Corsican pine. Agric. Meteorol. v. 9, p. 367-384, 1971.

RUTTER, A.J.; ROBINS, P.C.; MORTON, A.J. A predictive model of rainfall interception in forest. II. Generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. J. Appl. Ecol. v. 12, p. 367-380, 1975.

RYAN, M.G.; GOWER, S.T.; HUBBARD, R.M.; WARING, R.H.; GHOLZ, H.L.; CROPPER JR., W.P.; RUNNING, S.W. Woody tissue maintenance respiration of four conifers in contrasting climates. Oecologia v. 101, p. 133-140, 1995.

SACRAMENTO NETO, O.B. Balço hídrico em plantios jovens de eucalipto na região de Belo Oriente - MG. Viçosa, MG: UFV, 2001. 82f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SANDS, P.J.; LANDSBERG, J.J. Parameterisation of 3-PG for plantation grown *Eucalyptus globulus*. Forest Ecology and Management, v. 163, p. 273-292, 2002.

SANDS, P.J. 3PGpjs - A User – Friendly interface to 3-PG, the landsberg and waring model of forest productivity. Cooperative research centre for sustainable production forestry and CSIRO forestry and forestry products. Technical Report n. 29, Edition 2.3, february, 2003.

SANTOS, R.A.; HERNANDEZ, F.B.T.; FIORAVANTI, C.D.; LIMA, R.C.; VALÉRIO FILHO, W.V. Estimativa da radiação solar global diária em Ilha Solteira, São Paulo. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 32., 2003, Goiânia-GO. Anais...São Paulo, 2003.

SARAIVA, F.A.M.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B.; TEIXEIRA, A.H.C.; SOARES, J.M. Reflectância de um cultivo de videira européia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba-SP. Anais... Piracicaba, SP: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997. p. 529-531.

SBS – Sociedade Brasileira de Silvicultura. Fatos e números do Brasil florestal. Disponível em: <<http://www.sbs.org.br/estatisticas.htm>>. Acesso em: 07 de maio 2007.

SCHIMEL, D.S.; BRASWELL, B.H.; PARTON, W.J. Equilibration of the terrestrial water, nitrogen, and carbon cycles Proc. Natl. Acad. Sci. USA v. 94, p. 8280–8283, 1997., August Colloquium Paper.

SCOLAR, J. Estimativa da irradiação total sobre uma superfície inclinada a partir da irradiação global na horizontal. Botucatu, SP: UNESP, 2003. 93f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SILVA, G.G.C. Nutrição, crescimento e sua modelagem em povoamentos de eucalipto em resposta à disponibilidade de água e nutrientes. Viçosa, MG: UFV, 2006. 102f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SILVA, J.R.P. O Balanço de carbono sobre uma plantação de eucalipto, o problema de Quioto. [S. L.]: Licenciatura em Eng. do Ambiente, Instituto Superior Técnico, 2001. 46 p.

SILVA, V.P. Simulação da evaporação da água da chuva interceptada pela floresta amazônica. Viçosa, MG: UFV, 2000. 44f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOARES, J.V.; ALMEIDA, A.C.; PENCHEL, R.M. Balanço hídrico de plantações de eucalipto a partir da estimativa de transpiração pelo método de Penman–Monteith. In: CONFERENCE ON SILVICULTURE AND IMPROVEMENT OF EUCALYPTS. – IUFRO. Proceedings... Salvador: EMBRAPA/CNPQ, 1997.

SONG, J. Diurnal asymmetry in surface albedo. Agricultural and Forest Meteorology, v. 92, n. 3, p. 181-189, May 1998.

SOUZA FILHO, J.D.C. Variação sazonal dos componentes do balanço de radiação e energia sobre a floresta de Caxiuanã. Viçosa, MG: UFV, 2002. 67f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F.P. Balanço hídrico e caracterização climática de Guanhães, Nova Era e Rio Doce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13., 2003, Santa Maria. Anais... Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2003. v. 1, p. 131-132.

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; MINUZZI, R.B. Relação entre disponibilidade hídrica e produtividade do eucalipto em diferentes idades, em Guanhães, Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 629–638, 2006a.

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H.G.; LEITE, F.P.; MINUZZI, R.B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da bacia do rio Doce. Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 399-410, 2006b.

SOUZA, W.G.; RIBEIRO, A.; SANTANA, M. Modelagem e simulação da água da chuva interceptada pelo dossel vegetativo e serapilheira em plantios jovens de eucalipto em áreas de transição Cerrado – Mata Atlântica em Minas Gerais. In: SIMPÓSIO INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2002, Viçosa. Resumos... Viçosa, MG: UFV, 2002.

STAPE, J.L. 2002. Production ecology of clonal *Eucalyptus* plantations in northeastern Brazil. Colorado State University, Colorado, USA: 2002, 265 f. Thesis.

STAPE, J.L.; GOMES, A.N. Influência dos estresses hídricos e nutricionais no crescimento de plantios de eucaliptos no nordeste do Brasil. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 10., 1996, Águas de Lindóia. Anais... Águas de Lindóia, SP: 1996. CD-ROM.

STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis* X *urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. Forest Ecology and Management, v. 193 p. 219–234, 2004.

STRECK, N.A. Stomatal response to water vapor pressure deficit: an unsolved issue. R. Bras. Agrociência, v. 9, n. 4, p. 317-322, 2003.

TOIVONEN, P.M.A. Effects of storage conditions and postharvest procedures on oxidative stress in fruits and vegetables. In: HODGES, D.M. (Ed.). Postharvest oxidative stress in horticultural crops. Binghamton: Food Products Press, 2003. p. 69-90.

TRIBUZY, E.S. 2005. Variações da temperatura foliar do dossel e o seu efeito na taxa assimilatória de CO<sub>2</sub> na Amazônia Central. Piracicaba, SP: ESALQ, 2005. 84f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

TUCCI, C.E.M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2. ed. Porto Alegre: Editora UFRGS, Edusp, ABRH, 1997. v. 1, 952 p.

TURCO, J.E.P.; RIZZATTI, G.S. Avaliação de modelo matemático para estimar a radiação solar incidente sobre superfícies com diferentes exposições e declividades. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.257-267, jan./abr. 2006.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. 2000. Meteorologia básica e aplicações. Viços, MG: Editora UFV, 2000. 449 p.

VEISSID, N.; PEREIRA, E.B. Estimativa do albedo planetário empregando dados do experimento célula solar do Satélite brasileiro SCD2. Brazilian Journal of Geophysics, v. 18, n. 1, p. 25-38, 2000.

VOSE, J.M.; SWANK, W.T. Effects of long-term drought on the hydrology and growth of a white pine plantation in the southern appalachians. Forest Ecology and Management, v. 64, n. 1, p. 25-39, 1994.

WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. Description and validation of an array model – Maestro. Agric. For. Meteorol., v. 51, p. 257 - 280, 1990a.

WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. Effect of incident beam and diffuse radiation on PAR absorption, photosynthesis and transpiration of Sitka spruce – A simulation study. Silva Carelica, v. 15, p. 167 – 180, 1990c.

XUE, Q.; WEISS, A.; ARKEBAUERS, T.J.; BAENZIGER, S. Influence of soil water status and atmospheric vapor pressure deficit on leaf gas exchange in field-grown winter wheat. Environmental and Experimental Botany v.51, p. 167 – 179, 2004.

## **APÊNDICE**

## APÊNDICE A

Quadro 1.A Dados climáticos da região de Cocais

Mes	Ano	Tn(°C)	Tm(°C)	Tx(°C)	AMPLITUDE(T)	RH(%)	CHUVA(mm)	RS(MJm <sup>-2</sup> )	DPVORIG(mBar)	DPVMOD(mBar)	AMPLITUDE(DPV)
3	2000	17,32	18,77	20,22	2,90	82,99	485,86	14,16	1,96	4,00	-2,03
4	2000	14,55	17,12	19,68	5,13	85,04	57,85	12,24	3,18	3,21	-0,03
5	2000	13,16	17,20	21,23	8,07	79,91	107,53	11,49	5,04	4,20	0,85
6	2000	12,65	16,45	20,24	7,59	76,33	1,51	12,86	4,55	4,72	-0,18
7	2000	11,40	15,24	19,07	7,67	82,37	14,93	11,21	4,29	3,13	1,16
8	2000	10,36	15,23	20,09	9,73	76,78	32,97	13,58	5,47	4,70	0,76
9	2000	11,20	15,63	20,06	8,86	86,25	52,74	11,59	5,08	2,86	2,22
10	2000	12,81	19,28	25,75	12,94	71,27	64,46	18,49	9,16	7,50	1,66
11	2000	14,54	18,14	21,74	7,20	87,58	252,52	12,76	4,73	2,93	1,80
12	2000	16,01	18,57	21,13	5,12	85,22	422,91	14,90	3,44	3,60	-0,16
1	2001	16,42	19,90	23,38	6,96	80,90	396,94	16,86	5,03	4,75	0,28
2	2001	18,02	21,77	25,52	7,50	71,38	200,92	19,43	6,00	8,09	-2,08
3	2001	16,99	20,00	23,01	6,02	79,62	234,22	15,36	4,37	5,11	-0,73
4	2001	16,41	19,16	21,90	5,49	75,70	66,24	15,84	3,81	5,82	-2,02
5	2001	13,81	18,34	22,87	9,06	76,78	31,05	12,99	6,04	5,09	0,95
6	2001	13,93	16,24	18,54	4,61	78,56	8,44	11,24	2,72	4,21	-1,49
7	2001	12,50	17,84	23,18	10,68	74,43	8,35	12,44	6,95	5,16	1,79
8	2001	12,79	15,42	18,05	5,26	76,99	36,26	13,99	2,97	4,27	-1,30
9	2001	10,83	15,75	20,67	9,84	78,50	29,63	12,31	5,69	4,48	1,22
10	2001	13,63	18,61	23,59	9,96	79,78	96,92	15,57	6,75	4,64	2,11
11	2001	14,39	17,47	20,55	6,16	85,39	352,44	13,58	3,90	3,49	0,40
12	2001	15,57	18,17	20,77	5,20	83,29	401,93	14,91	3,42	3,91	-0,49
1	2002	16,30	19,11	21,93	5,63	85,08	268,32	14,90	3,90	3,69	0,21
2	2002	15,38	18,84	22,31	6,93	85,70	245,73	12,49	4,73	3,42	1,31
3	2002	16,20	18,52	20,83	4,63	82,12	61,40	15,74	3,10	4,28	-1,18
4	2002	17,30	19,40	21,50	4,20	79,80	25,88	14,59	2,95	4,72	-1,78
5	2002	12,11	16,57	21,02	8,91	80,80	23,09	12,67	5,39	4,09	1,30
6	2002	14,61	16,45	18,28	3,67	77,82	1,25	12,30	2,19	4,38	-2,19
7	2002	12,97	16,17	19,37	6,40	81,04	4,55	10,18	3,77	3,65	0,12
8	2002	13,25	16,78	20,31	7,06	73,17	17,20	15,09	4,30	5,70	-1,40
9	2002	11,73	16,64	21,56	9,83	81,74	124,64	11,23	5,98	3,80	2,18
10	2002	14,89	18,14	21,39	6,50	71,99	76,14	18,94	4,27	6,68	-2,41
11	2002	11,90	16,49	21,08	9,18	83,05	227,75	14,23	5,53	4,02	1,51
12	2002	16,47	19,94	23,41	6,94	83,96	414,01	13,80	5,03	4,13	0,90
1	2003	16,55	19,47	22,40	5,85	85,43	389,47	14,04	4,13	3,62	0,51
2	2003	17,83	19,84	21,85	4,02	74,55	19,27	19,01	2,89	6,53	-3,64
3	2003	16,06	18,98	21,91	5,85	80,33	70,02	13,30	4,02	4,89	-0,87
4	2003	14,39	18,34	22,28	7,89	79,82	28,35	12,85	5,25	4,80	0,45
5	2003	13,67	17,34	21,01	7,34	73,92	7,60	12,80	4,62	5,36	-0,74
6	2003	13,89	16,83	19,76	5,87	67,65	0,00	15,48	3,58	6,62	-3,04
7	2003	11,22	15,11	18,99	7,77	70,67	3,52	14,89	4,32	5,62	-1,30
8	2003	11,44	15,52	19,59	8,15	76,64	10,35	13,70	4,64	4,57	0,07
9	2003	12,38	17,98	23,58	11,20	73,78	30,43	15,03	7,36	6,10	1,26
10	2003	11,91	16,85	21,80	9,89	68,74	49,25	16,96	6,09	7,36	-1,27
11	2003	11,34	16,55	21,76	10,42	79,74	81,45	14,33	6,31	4,78	1,53
12	2003	13,52	18,60	23,67	10,15	80,99	254,60	16,39	6,88	4,73	2,15
1	2004	14,30	18,38	22,46	8,16	87,26	311,69	12,66	5,44	2,82	2,62
2	2004	12,61	17,16	21,70	9,09	86,74	256,57	12,60	5,68	3,02	2,66
3	2004	13,39	16,75	20,11	6,72	86,57	140,57	13,54	4,09	2,98	1,11
4	2004	13,18	17,06	20,94	7,76	86,38	185,76	11,82	4,81	2,94	1,87
5	2004	11,92	16,09	20,26	8,34	85,56	14,14	10,86	4,90	2,93	1,97
6	2004	11,90	14,46	17,02	5,12	83,48	18,23	11,06	2,73	2,93	-0,20
7	2004	8,14	12,72	17,29	9,15	82,76	55,31	11,25	4,45	2,84	1,61
8	2004	9,62	16,02	22,41	12,79	74,21	0,76	15,97	7,57	5,01	2,56
9	2004	14,76	18,63	22,49	7,73	67,59	8,63	19,24	5,22	7,05	-1,83
10	2004	11,85	17,40	22,94	11,09	78,11	45,91	14,49	7,05	5,04	2,01
11	2004	14,58	18,18	21,78	7,20	80,92	87,33	15,00	4,74	4,49	0,26
12	2004	13,33	17,57	21,81	8,48	87,37	302,31	14,51	5,41	3,08	2,34
1	2005	15,59	19,07	22,56	6,97	87,15	284,05	14,29	4,82	3,20	1,62
2	2005	14,81	18,79	22,76	7,95	84,13	157,36	17,11	5,42	3,92	1,50
3	2005	14,37	17,96	21,56	7,19	90,20	365,35	12,14	4,68	2,39	2,29
4	2005	13,07	17,11	21,15	8,08	85,25	50,26	14,06	5,03	3,45	1,57
5	2005	13,21	17,23	21,25	8,04	85,98	25,32	11,79	5,03	2,84	2,20
6	2005	11,28	15,21	19,14	7,86	86,59	17,68	10,40	4,40	2,55	1,85
7	2005	8,78	14,16	19,55	10,77	81,62	14,70	12,46	5,71	3,45	2,27
8	2005	13,54	16,37	19,19	5,65	80,23	3,51	14,97	3,36	3,90	-0,54
9	2005	10,99	15,01	19,02	8,03	85,67	87,01	12,20	4,44	3,01	1,43
10	2005	15,68	19,78	23,89	8,21	70,95	30,71	20,00	5,91	7,40	-1,49
11	2005	10,59	15,10	19,61	9,02	92,42	253,76	10,88	5,02	1,67	3,36
12	2005	11,62	15,77	19,92	8,30	87,72	259,41	13,42	4,79	2,88	1,91
1	2006	16,31	20,59	24,87	8,56	76,68	39,34	19,08	6,44	6,01	0,44
2	2006	17,91	20,81	23,72	5,81	73,21	71,08	18,96	4,41	7,27	-2,86
3	2006	15,71	18,50	21,30	5,59	88,74	253,86	13,36	3,74	2,69	1,06
4	2006	11,48	16,49	21,49	10,01	87,22	77,34	12,61	6,04	2,94	3,10
5	2006	12,23	15,79	19,34	7,11	81,05	14,72	13,59	4,10	3,65	0,46

Quadro 2.A Dados climáticos da região de Rio Doce

Mes	Ano	Tn(°C)	Tm(°C)	Tx(°C)	AMPLITUDE(T)	RH(%)	CHUVA(mm)	RS(MJm <sup>-2</sup> )	DPVORIG(mBar)	DPVMOD(mBar)	AMPLITUDE(DPV)
10	2000	19,00	22,80	26,60	7,60	76,70	16,50	18,90	6,42	10,12	-3,70
11	2000	19,70	22,20	24,70	5,00	79,86	244,75	15,11	4,08	7,35	-3,27
12	2000	20,70	23,05	25,40	4,70	79,06	180,00	20,78	4,01	8,12	-4,11
1	2001	20,20	23,00	25,80	5,60	74,35	40,50	23,04	4,77	10,54	-5,76
2	2001	22,25	24,24	26,23	3,98	68,66	32,50	23,37	3,61	14,26	-10,64
3	2001	21,10	23,26	25,41	4,31	75,60	136,00	20,46	3,72	10,33	-6,61
4	2001	18,34	21,82	25,29	6,95	72,39	41,00	19,08	5,57	11,23	-5,66
5	2001	9,35	15,67	21,98	12,63	73,21	2,50	14,21	7,32	7,46	-0,14
6	2001	11,81	16,50	21,19	9,38	81,71	14,43	13,14	5,65	5,81	-0,15
7	2001	12,01	17,03	22,04	10,03	80,69	20,47	13,40	6,23	6,17	0,06
8	2001	13,51	18,41	23,31	9,80	75,90	9,90	15,11	6,57	7,58	-1,01
9	2001	15,22	20,60	25,98	10,76	73,56	38,31	13,86	8,14	8,56	-0,42
10	2001	15,48	19,84	24,21	8,73	75,63	97,18	16,98	6,31	8,35	-2,03
11	2001	19,89	22,88	25,86	5,97	82,56	379,35	17,62	5,06	6,56	-1,50
12	2001	19,12	22,05	24,97	5,85	80,94	302,15	18,23	4,74	7,04	-2,30
1	2002	20,50	22,75	24,99	4,49	81,89	241,69	20,97	3,77	7,03	-3,26
2	2002	19,41	22,21	25,01	5,60	84,36	286,14	17,88	4,58	5,94	-1,36
3	2002	19,81	22,09	24,36	4,55	79,82	48,75	20,86	3,69	7,92	-4,23
4	2002	17,95	20,51	23,06	5,11	81,79	44,17	19,01	3,81	6,94	-3,13
5	2002	13,18	18,19	23,19	10,01	83,05	37,84	14,82	6,63	5,73	0,91
6	2002	14,43	17,38	20,32	5,89	83,92	1,50	13,30	3,71	5,05	-1,34
7	2002	13,22	16,88	20,53	7,31	81,74	13,12	11,74	4,48	5,47	-0,99
8	2002	13,51	17,19	20,87	7,36	76,74	14,96	15,85	4,59	7,65	-3,05
9	2002	13,47	18,30	23,14	9,67	76,69	102,58	13,30	6,44	7,35	-0,91
10	2002	16,73	20,89	25,06	8,33	71,12	40,35	21,87	6,37	10,74	-4,37
11	2002	15,52	20,16	24,80	9,28	80,60	221,41	18,01	6,83	7,13	-0,30
12	2002	19,12	22,80	26,48	7,36	82,13	313,82	18,87	6,22	7,08	-0,86
1	2003	19,96	23,35	26,75	6,79	85,80	377,02	17,51	5,90	5,44	0,46
2	2003	20,66	22,88	25,09	4,43	75,42	188,41	24,23	3,75	10,07	-6,33
3	2003	20,54	22,66	24,77	4,23	77,53	92,94	20,13	3,53	8,91	-5,37
4	2003	17,91	21,22	24,53	6,62	82,35	63,48	16,81	5,14	6,42	-1,28
5	2003	14,00	18,37	22,74	8,74	81,24	10,15	15,02	5,83	6,04	-0,21
6	2003	12,32	15,76	19,20	6,88	80,69	12,63	15,22	3,96	6,19	-2,23
7	2003	11,51	15,67	19,83	8,32	77,97	17,42	14,48	4,78	6,54	-1,76
8	2003	13,18	17,09	21,00	7,82	75,65	19,79	15,14	4,86	7,19	-2,33
9	2003	13,97	19,87	25,77	11,80	72,19	21,34	15,68	8,60	9,33	-0,73
10	2003	14,74	21,21	27,68	12,94	65,79	101,08	19,46	10,16	12,07	-1,91
11	2003	17,99	22,43	26,86	8,87	72,81	174,96	18,76	7,37	9,96	-2,60
12	2003	19,62	23,27	26,92	7,30	77,64	148,49	20,15	6,32	8,87	-2,54
1	2004	20,37	22,95	25,52	5,15	84,20	282,61	17,01	4,37	5,67	-1,30
2	2004	18,71	21,73	24,75	6,04	84,46	256,88	17,15	4,81	5,73	-0,91
3	2004	19,70	21,77	23,83	4,13	83,63	152,60	17,89	3,29	5,80	-2,51
4	2004	15,94	20,28	24,62	8,68	86,59	145,97	15,11	6,43	4,63	1,79
5	2004	15,94	18,87	21,79	5,85	87,12	35,51	12,05	3,99	3,97	0,02
6	2004	13,83	16,83	19,82	5,99	87,18	45,43	12,31	3,66	3,60	0,06
7	2004	10,10	15,14	20,17	10,07	85,45	45,68	12,43	5,63	3,88	1,75
8	2004	10,69	15,32	19,95	9,26	80,09	2,29	15,81	5,22	5,96	-0,74
9	2004	13,46	18,45	23,44	9,98	72,25	0,00	18,18	6,71	9,37	-2,66
10	2004	17,98	21,54	25,10	7,12	70,82	32,74	16,99	5,63	10,45	-4,82
11	2004	20,10	23,23	26,35	6,25	70,87	109,53	19,67	5,39	11,40	-6,01
12	2004	19,54	22,85	26,16	6,62	84,11	414,95	17,93	5,60	6,08	-0,48
1	2005	20,57	22,54	24,50	3,93	84,18	231,56	17,93	3,26	6,10	-2,84
2	2005	18,92	21,76	24,60	5,68	83,10	600,64	20,30	4,53	6,47	-1,94
3	2005	20,13	22,32	24,51	4,38	85,13	170,62	15,88	3,60	5,73	-2,14
4	2005	18,73	20,59	22,46	3,73	82,22	74,40	16,06	2,79	6,61	-3,82
5	2005	15,54	19,33	23,11	7,57	84,72	68,03	13,04	5,31	4,91	0,40
6	2005	15,41	17,83	20,25	4,84	83,74	25,60	11,26	3,12	4,68	-1,56
7	2005	14,09	17,43	20,76	6,67	78,74	4,30	12,81	4,21	5,95	-1,73
8	2005	15,23	18,64	22,04	6,81	73,22	8,36	15,69	4,60	8,22	-3,62
9	2005	17,00	20,75	24,49	7,49	75,31	59,65	13,50	5,67	7,83	-2,15
10	2005	17,69	22,16	26,63	8,94	62,70	40,39	20,89	7,32	14,35	-7,03
11	2005	17,95	20,91	23,86	5,91	82,24	12,07	13,95	4,51	5,94	-1,43
12	2005	19,18	21,74	24,30	5,12	79,87	314,09	18,18	4,08	6,97	-2,89
1	2006	20,42	22,75	25,08	4,66	69,19	8,87	24,18	3,91	11,96	-8,05
2	2006	21,61	24,52	27,42	5,81	67,04	84,78	23,11	5,36	13,94	-8,58
3	2006	21,02	22,94	24,85	3,83	81,25	279,56	17,99	3,25	7,05	-3,80
4	2006	18,71	20,96	23,21	4,50	83,33	81,72	14,94	3,44	5,78	-2,35
5	2006	13,30	17,71	22,12	8,82	81,95	10,15	14,08	5,68	5,43	0,25

Quadro 3.A Dados climáticos da região de Santa Bárbara

Mes	Ano	Tn(°C)	Tm(°C)	Tx(°C)	AMPLITUDE(T)	RH(%)	CHUVA(mm)	RS(MJm <sup>-2</sup> )	DPVORIG(mBar)	DPVMOD(mBar)	AMPLITUDE(DPV)
10	2000	14,87	20,52	26,16	11,29	65,00	29,67	20,32	8,51	10,90	-2,39
11	2000	16,43	19,50	22,57	6,14	82,64	366,84	13,73	4,34	4,78	-0,43
12	2000	16,74	19,72	22,71	5,97	79,24	315,64	17,85	4,27	6,02	-1,74
1	2001	18,41	20,87	23,33	4,92	74,80	144,97	20,07	3,74	7,42	-3,68
2	2001	19,82	22,75	25,67	5,85	66,74	27,68	22,41	4,92	10,88	-5,96
3	2001	17,06	20,26	23,45	6,39	74,58	235,67	18,54	4,71	7,53	-2,82
4	2001	17,48	20,17	22,85	5,37	67,99	53,49	18,35	3,93	9,09	-5,16
5	2001	15,20	19,12	23,05	7,85	70,40	34,03	14,00	5,45	7,48	-2,03
6	2001	14,64	16,89	19,14	4,50	70,96	13,17	13,07	2,75	6,68	-3,92
7	2001	14,11	18,15	22,18	8,07	66,98	11,36	12,89	5,31	7,64	-2,33
8	2001	14,19	17,35	20,50	6,31	65,32	20,83	14,56	3,97	7,91	-3,95
9	2001	12,39	17,76	23,14	10,75	69,29	28,92	13,41	6,97	7,49	-0,52
10	2001	15,42	19,79	24,15	8,73	70,41	101,45	18,61	6,29	7,96	-1,67
11	2001	16,34	19,56	22,77	6,43	79,20	287,94	13,73	4,56	6,02	-1,46
12	2001	17,74	20,17	22,60	4,86	77,45	287,10	17,85	3,56	6,29	-2,74
1	2002	17,91	20,41	22,91	5,00	80,22	460,43	11,93	3,71	5,74	-2,03
2	2002	17,17	19,85	22,52	5,35	81,84	249,00	17,59	3,85	5,03	-1,18
3	2002	18,10	20,56	23,01	4,91	75,07	57,36	16,44	3,67	7,23	-3,56
4	2002	18,42	20,18	21,94	3,52	73,39	37,07	17,01	2,58	7,49	-4,92
5	2002	14,18	18,41	22,64	8,46	74,73	22,33	12,80	5,66	6,29	-0,63
6	2002	15,52	17,28	19,04	3,52	71,70	0,25	12,30	2,20	6,58	-4,38
7	2002	14,55	17,71	20,87	6,32	72,53	2,77	12,50	4,05	6,23	-2,18
8	2002	15,77	19,27	22,76	6,99	63,13	5,05	17,81	4,89	9,31	-4,43
9	2002	13,09	17,67	22,24	9,15	73,11	95,73	12,90	5,88	6,63	-0,75
10	2002	16,55	20,32	24,09	7,54	62,85	31,22	21,72	5,58	10,89	-5,30
11	2002	14,17	18,81	23,46	9,29	77,21	220,57	18,08	6,36	6,39	-0,03
12	2002	18,55	21,28	24,01	5,46	80,23	323,68	16,79	4,25	5,89	-1,65
1	2003	17,59	20,19	22,80	5,21	82,65	555,01	16,79	3,82	5,04	-1,22
2	2003	18,93	21,36	23,80	4,87	66,54	29,44	23,66	3,80	10,33	-6,53
3	2003	17,93	21,14	24,34	6,41	76,61	97,41	16,59	4,95	6,82	-1,87
4	2003	16,16	19,26	22,35	6,19	75,04	11,62	15,72	4,32	6,80	-2,48
5	2003	14,68	18,36	22,05	7,37	69,20	13,18	14,84	4,91	7,25	-2,34
6	2003	15,21	18,06	20,90	5,69	65,22	0,00	15,94	3,72	8,35	-4,63
7	2003	12,45	15,86	19,26	6,81	65,21	3,81	14,34	3,94	7,74	-3,80
8	2003	12,71	16,96	21,20	8,49	70,41	29,69	13,84	5,24	6,78	-1,54
9	2003	14,36	18,87	23,38	9,02	69,21	45,37	16,07	6,19	8,18	-1,99
10	2003	14,88	20,12	25,36	10,48	63,18	68,29	18,56	7,72	10,21	-2,49
11	2003	15,25	19,42	23,58	8,33	74,61	329,85	17,38	5,88	7,06	-1,18
12	2003	17,00	20,58	24,15	7,15	78,78	257,13	18,67	5,36	6,24	-0,88
1	2004	17,37	19,58	21,79	4,42	81,90	596,99	15,36	3,13	4,84	-1,70
2	2004	15,49	19,39	23,30	7,81	82,24	274,45	14,74	5,50	4,90	0,60
3	2004	15,49	18,56	21,62	6,13	80,10	194,24	16,86	4,12	5,31	-1,20
4	2004	15,42	18,42	21,41	5,99	83,28	141,13	13,84	3,99	4,31	-0,31
5	2004	12,57	17,09	21,60	9,03	81,09	33,25	12,33	5,62	4,45	1,17
6	2004	12,42	15,44	18,47	6,05	80,12	12,41	11,71	3,42	4,07	-0,65
7	2004	10,55	14,19	17,82	7,27	76,68	34,49	12,50	3,83	4,51	-0,68
8	2004	11,96	16,67	21,39	9,43	67,96	19,05	17,81	5,74	7,27	-1,53
9	2004	17,07	19,78	22,48	5,41	60,36	0,00	20,60	3,88	10,47	-6,59
10	2004	14,67	19,26	23,85	9,18	71,61	70,31	16,96	6,44	7,66	-1,22
11	2004	16,18	20,02	23,86	7,68	71,57	83,01	19,25	5,60	7,90	-2,31
12	2004	16,37	19,67	22,96	6,59	83,29	346,27	15,24	4,70	4,87	-0,17
1	2005	17,42	20,80	24,17	6,75	82,79	246,50	15,22	5,12	5,04	0,08
2	2005	17,27	20,80	24,33	7,06	78,72	174,91	19,33	5,36	6,16	-0,80
3	2005	17,02	19,98	22,93	5,91	83,85	346,32	14,99	4,29	4,70	-0,42
4	2005	15,20	18,75	22,30	7,10	78,82	19,01	15,77	4,83	5,94	-1,12
5	2005	14,68	18,31	21,94	7,26	78,69	60,91	13,28	4,82	5,10	-0,28
6	2005	13,45	15,75	18,05	4,60	81,43	31,94	11,95	2,64	4,12	-1,48
7	2005	10,66	14,76	18,85	8,19	76,60	11,66	12,90	4,47	5,11	-0,64
8	2005	14,06	18,01	21,96	7,90	70,21	6,34	16,43	5,16	7,13	-1,97
9	2005	13,80	17,08	20,36	6,56	76,99	112,73	13,50	4,06	5,82	-1,75
10	2005	16,49	20,05	23,60	7,11	66,63	57,63	19,06	5,18	10,03	-4,84
11	2005	12,49	17,06	21,64	9,15	87,36	324,95	11,17	5,69	3,26	2,43
12	2005	15,04	18,56	22,08	7,04	81,04	289,94	15,38	4,73	5,21	-0,48
1	2006	18,26	21,60	24,94	6,68	69,91	76,93	19,82	5,29	9,22	-3,93
2	2006	18,57	21,32	24,07	5,50	70,78	56,07	20,28	4,29	9,21	-4,92
3	2006	17,56	20,18	22,81	5,25	83,50	251,84	15,06	3,85	4,68	-0,84
4	2006	14,48	18,27	22,06	7,58	81,53	70,78	14,88	5,02	4,98	0,04
5	2006	12,83	16,41	19,99	7,16	76,93	10,64	14,06	4,28	5,24	-0,97

Quadro 4.A Dados climáticos da região de Virgíópolis

Mes	Ano	Tn(°C)	Tm(°C)	Tx(°C)	AMPLITUDE(T)	RH(%)	CHUVA(mm)	RS(MJm <sup>-2</sup> )	DPVORIG(mBar)	DPVMOD(mBar)	AMPLITUDE(DPV)
11	2000	15,12	19,00	22,88	7,76	86,15	388,60	13,81	5,35	3,72	1,63
12	2000	17,10	19,80	22,49	5,39	84,57	336,68	15,77	3,87	4,18	-0,31
1	2001	17,67	20,81	23,94	6,27	78,74	69,28	19,81	4,76	6,00	-1,24
2	2001	18,84	22,79	26,74	7,90	68,36	16,01	21,60	6,68	10,07	-3,39
3	2001	17,70	20,68	23,65	5,95	78,89	108,86	17,48	4,48	5,95	-1,47
4	2001	17,47	20,80	24,12	6,65	75,22	22,35	17,02	5,05	6,68	-1,64
5	2001	15,52	20,36	25,21	9,69	77,60	38,27	13,04	7,22	5,53	1,69
6	2001	15,99	17,84	19,68	3,69	79,15	14,70	11,84	2,38	4,63	-2,25
7	2001	14,09	19,27	24,44	10,35	73,86	4,82	12,38	7,28	5,94	1,34
8	2001	13,86	16,41	18,95	5,09	77,35	32,54	13,87	3,03	4,71	-1,68
9	2001	11,32	16,21	21,09	9,77	76,70	46,13	12,47	5,80	5,47	0,33
10	2001	14,96	18,85	22,74	7,78	80,37	89,51	6,99	5,32	4,96	0,36
11	2001	16,90	19,10	21,31	4,41	84,75	338,92	14,89	3,05	3,93	-0,88
12	2001	16,67	19,45	22,23	5,56	82,17	387,68	16,24	3,92	4,57	-0,65
1	2002	17,39	20,49	23,59	6,20	83,15	267,58	18,55	4,62	4,57	0,06
2	2002	16,14	20,57	25,00	8,86	83,83	135,20	15,87	6,66	4,40	2,26
3	2002	16,79	19,70	22,60	5,81	82,14	112,69	18,28	4,15	4,65	-0,50
4	2002	18,30	20,35	22,41	4,11	79,42	17,19	17,34	3,04	5,33	-2,29
5	2002	14,37	18,29	22,21	7,84	77,56	26,14	13,68	5,20	5,34	-0,14
6	2002	15,16	17,58	19,99	4,83	78,22	2,53	13,26	3,07	4,76	-1,69
7	2002	14,28	17,58	20,87	6,59	80,89	10,10	10,09	4,20	4,04	0,16
8	2002	14,43	17,82	21,22	6,79	74,47	27,09	15,51	4,38	5,95	-1,56
9	2002	12,52	17,94	23,36	10,84	82,51	138,07	12,23	7,10	3,98	3,11
10	2002	16,59	19,30	22,01	5,42	71,08	23,59	20,52	3,79	7,62	-3,83
11	2002	12,19	17,27	22,34	10,15	80,15	154,86	17,16	6,39	5,24	1,15
12	2002	16,51	20,36	24,21	7,70	82,01	247,96	16,26	5,72	4,95	0,77
1	2003	16,32	20,20	24,07	7,75	84,07	281,28	16,44	5,70	4,22	1,48
2	2003	16,20	19,95	23,69	7,49	76,29	39,32	21,78	5,44	6,48	-1,05
3	2003	16,16	19,98	23,81	7,65	77,93	125,43	19,15	5,56	5,94	-0,38
4	2003	14,87	19,33	23,79	8,92	79,29	40,83	15,23	6,28	5,27	1,01
5	2003	14,34	18,84	23,34	9,00	73,39	5,29	13,52	6,17	6,12	0,04
6	2003	16,52	18,71	20,90	4,38	66,47	0,00	15,40	2,96	7,63	-4,67
7	2003	11,72	16,20	20,68	8,96	70,51	9,61	14,60	5,31	6,26	-0,96
8	2003	11,98	16,38	20,77	8,79	75,42	9,14	13,20	5,26	5,32	-0,06
9	2003	13,94	19,61	25,27	11,33	72,54	15,94	15,74	8,13	6,95	1,19
10	2003	13,89	19,49	25,08	11,19	66,68	62,21	19,07	7,98	8,73	-0,75
11	2003	12,23	17,55	22,87	10,64	77,63	57,29	16,27	6,82	5,86	0,95
12	2003	11,76	17,73	23,69	11,93	78,94	328,55	18,50	7,74	5,60	2,14
1	2004	13,20	17,42	21,64	8,44	86,72	215,52	14,53	5,34	2,82	2,52
2	2004	3,22	13,22	23,22	20,00	85,35	170,21	14,71	10,39	3,24	7,14
3	2004	10,74	15,60	20,46	9,72	86,37	146,91	14,65	5,58	2,86	2,71
4	2004	5,92	13,21	20,50	14,58	86,25	127,28	13,08	7,41	2,90	4,51
5	2004	8,89	14,78	20,67	11,78	86,29	10,35	11,40	6,49	2,84	3,65
6	2004	12,77	15,45	18,14	5,37	83,11	19,23	11,20	3,03	3,20	-0,16
7	2004	6,83	12,85	18,88	12,05	82,71	42,04	11,06	5,95	3,00	2,96
8	2004	11,91	17,35	22,79	10,88	73,38	4,31	15,73	6,90	5,71	1,18
9	2004	14,72	18,23	21,74	7,02	67,86	0,76	19,11	4,64	7,67	-3,03
10	2004	10,18	17,14	24,09	13,91	73,60	22,31	17,44	8,78	6,78	2,01
11	2004	15,31	19,23	23,15	7,84	78,24	56,87	18,57	5,48	5,57	-0,09
12	2004	8,84	15,47	22,09	13,25	85,14	305,04	16,18	7,61	3,79	3,82
1	2005	14,23	19,34	24,46	10,23	85,26	317,89	15,87	7,22	3,88	3,35
2	2005	13,75	18,52	23,29	9,54	82,61	228,22	18,48	6,43	4,47	1,96
3	2005	11,63	17,31	22,99	11,36	87,32	223,11	15,37	7,19	3,20	3,99
4	2005	8,82	15,10	21,38	12,56	83,20	75,38	15,44	7,06	4,20	2,86
5	2005	11,99	17,24	22,48	10,49	84,98	24,55	11,92	6,60	3,16	3,45
6	2005	11,26	15,93	20,60	9,34	86,03	41,79	10,75	5,45	2,72	2,73
7	2005	5,66	12,46	19,26	13,60	80,65	30,20	12,29	6,60	3,77	2,83
8	2005	10,46	14,70	18,93	8,47	81,03	17,19	15,22	4,61	3,86	0,74
9	2005	4,49	11,88	19,26	14,77	85,16	35,72	12,30	6,96	2,95	4,01
10	2005	11,98	18,25	24,52	12,54	68,89	91,42	20,75	8,39	8,65	-0,26
11	2005	4,00	11,44	18,89	14,89	91,02	257,58	11,28	6,84	1,62	5,22
12	2005	5,78	12,61	19,43	13,65	86,31	239,32	14,26	6,68	2,85	3,83
1	2006	15,52	20,23	24,93	9,41	75,74	15,97	20,66	6,96	6,65	0,30
2	2006	19,20	21,67	24,14	4,94	71,03	54,06	22,36	3,92	8,76	-4,84
3	2006	11,15	16,91	22,66	11,51	87,66	182,41	14,54	7,13	2,90	4,23
4	2006	5,13	13,52	21,90	16,77	86,31	70,21	13,76	8,74	2,97	5,76
5	2006	10,35	15,20	20,05	9,70	80,06	7,58	13,57	5,44	4,11	1,33



Quadro 5.A Informações sobre as regiões estudadas: Cocais, Rio Doce, Santa Bárbara e Virgínpolis

Parcela	Projeto	Solo	Classe de solo	Inc(°)	Azí (°)	Orientação	Plantio	Inventário	Idade (Anos)	DTA (mm m <sup>-1</sup> )	Município	Regional	Região	Produtividade (2004) (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			Produtividade (2005) (m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )			Irradiância Solar Anual (MJ m <sup>-2</sup> ) (ORIG)					Irradiância Solar Anual (MJ m <sup>-2</sup> ) (PRO)								
														Observado		Proposto	Observado		Proposto	Original		Original		2001	2002	2003	2004	2005	2001	2002	2003	2004	2005
8539	Achado	CXBD7	Cambissolo Típico	16	151	SUL	ago/00	abr/04	3,66	100	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	50,08	48,96	46,98	53,25	53,42	46,84	72,1	166,2	178,8	163,0	163,7	64,0	147,9	157,7	145,2	150,9				
8580	Córrego dos Machados	CXbd10	Cambissolo Latossólico	26	358	NORTE	jun/00	mai/04	3,92	136	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	41,56	51,66	44,60	46,19	56,03	44,53	96,4	166,2	178,8	163,0	163,7	104,2	172,1	187,2	168,0	168,0				
6716	Ribeirão Grande	CXbd10	Cambissolo Latossólico	20	192	SUL	mai/99	mai/04	5,00	136	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	44,36	41,14	35,48	47,01	44,79	35,90	163,9	166,2	178,8	163,0	163,7	146,3	149,0	158,4	146,4	144,8				
6718	Ribeirão Grande	Law1 + CXbd10	Latossolo Amarelo	10	312	PLANO	abr/99	mai/04	5,08	195	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	43,63	46,10	36,82	43,79	49,24	36,95	163,9	166,2	178,8	163,0	163,7	170,9	173,4	187,3	169,2	165,6				
8402	Ribeirão Grande	CXbd7	Cambissolo Típico	14	119	PLANO	set/99	mai/04	4,66	100	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	46,38	42,88	38,69	45,65	45,62	38,89	163,9	166,2	178,8	163,0	163,7	148,4	150,7	161,5	148,3	156,7				
8482	Ribeirão Grande	Law1	Latossolo Amarelo	25	35	NORTE	set/99	mai/04	4,66	195	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	64,57	46,43	38,69	65,61	50,49	38,89	163,9	166,2	178,8	163,0	163,7	158,5	160,3	174,0	157,0	166,6				
6695	São José	CXBD9	Cambissolo Latossólico	22	225	SUL	dez/99	jun/04	4,50	150	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	51,18	47,66	39,97	51,66	49,85	40,38	163,9	166,2	178,8	163,0	163,7	154,9	157,9	168,3	154,4	147,2				
8563	São José	CXBD9+CXBD14	Cambissolo Latossólico	39	258	PLANO	fev/00	jun/04	4,33	150	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	48,93	46,59	40,19	46,95	49,55	40,77	163,9	166,2	178,8	163,0	163,7	156,8	160,6	171,3	156,3	141,2				
8572	São José	CXBD9	Cambissolo Latossólico	34	344	NORTE	jul/00	jun/04	3,92	150	Antonio Dias	Belo Oriente	Cocais	55,64	52,24	46,16	58,95	55,37	46,22	83,4	166,2	178,8	163,0	163,7	89,7	173,5	189,0	168,8	164,8				
7916	Bião	LAD1	Latossolo Amarelo	16	25	NORTE	nov/99	mai/04	4,50	253	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	36,27	50,71	49,08	35,66	52,71	49,07	208,5	206,5	212,6	192,5	189,5	221,6	218,7	226,0	203,0	198,5				
1578	Boa Vista 3	CXbd5	Cambissolo Latossólico	21	246	PLANO	out/01	jan/04	2,25	222	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	51,89	28,79	37,12	52,02	45,03	44,62														
3200	Boa Vista 3	LVAw2	Latossolo Vermelho Amarelo	20	76	PLANO	nov/01	mar/04	2,33	146	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	33,35	39,65	40,80	46,50	54,80	45,73														
3214	Boa Vista 3	CXbd5	Cambissolo Latossólico	14	255	PLANO	nov/01	mar/04	2,33	222	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	31,70	37,00	40,80	39,79	50,29	45,73														
9068	Boa Vista 4	CXbd5	Cambissolo Latossólico	13	32	NORTE	nov/00	mai/04	3,50	222	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	52,78	53,60	52,00	54,85	60,99	52,81	52,8	206,5	212,6	192,5	189,5	52,5	218,4	225,4	207,1	198,2				
9069	Boa Vista 4	LVAd1 + LVAw2	Latossolo Vermelho Amarelo	17	47	PLANO	nov/00	mai/04	3,50	160	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	52,91	50,41	52,00	60,79	53,72	52,81	52,8	206,5	212,6	192,5	189,5	53,0	222,2	229,3	205,6	200,4				
9081	Boa Vista 4	LVAw2	Latossolo Vermelho Amarelo	5	56	PLANO	nov/00	mai/04	3,50	146	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	39,91	52,75	52,00	42,11	60,17	52,81	52,8	206,5	212,6	192,5	189,5	53,2	212,4	216,3	197,4	193,5				
9091	Boa Vista 4	LVAw2	Latossolo Vermelho Amarelo	22	66	PLANO	nov/00	mai/04	3,50	146	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	39,81	54,15	52,00	42,87	61,46	52,81	52,8	206,5	212,6	192,5	189,5	53,7	223,2	230,9	206,4	200,8				
3920	Boleira	CXbd1	Cambissolo Típico	19	241	PLANO	jan/01	fev/04	3,08	230	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	31,04	40,10	45,86	37,47	46,31	47,97	18,2	206,5	212,6	192,5	189,5	16,8	177,1	180,6	166,3	165,9				
4776	Felicina	CXBD1	Cambissolo Típico	10	219	SUL	nov/01	fev/04	2,25	230	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	31,68	33,98	38,09	41,12	48,74	44,11														
4779	Felicina	LVAD1	Latossolo Vermelho Amarelo	14	13	NORTE	nov/01	fev/04	2,25	160	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	26,26	35,21	38,09	43,95	51,44	44,11														
7754	Garapa	CXbd3	Cambissolo Fundo de Vale	7	233	PLANO	nov/99	mai/04	4,50	353	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	37,56	41,73	49,08	37,05	41,54	49,07	208,5	206,5	212,6	192,5	189,5	194,6	196,1	202,0	183,2	181,3				
7757	Garapa	LAD1	Latossolo Amarelo	14	244	PLANO	nov/99	mai/04	4,50	253	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	45,13	46,44	49,08	48,13	50,10	49,07	208,5	206,5	212,6	192,5	189,5	183,1	185,5	189,9	173,8	173,1				
7768	Garapa	LAD1	Latossolo Amarelo	7	332	NORTE	nov/99	mai/04	4,50	253	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	34,91	48,28	49,08	33,78	52,33	49,07	208,5	206,5	212,6	192,5	189,5	206,5	206,6	213,4	192,2	190,0				
7775	Garrafinha	LAD1	Latossolo Amarelo	10	180	SUL	nov/99	jun/04	4,58	253	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	48,17	49,07	49,15	51,28	51,52	48,96	208,5	206,5	212,6	192,5	189,5	204,7	205,0	211,0	191,2	188,1				
7781	Garrafinha	CXbd3	Cambissolo Fundo de Vale	2	278	PLANO	nov/99	jun/04	4,58	353	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	53,36	41,22	49,15	51,46	42,02	48,96	208,5	206,5	212,6	192,5	189,5	203,5	203,9	210,2	190,4	187,6				
7790	Garrafinha	LAD1	Latossolo Amarelo	1	0	NORTE	nov/99	jun/04	4,58	253	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	47,43	51,20	49,15	49,00	53,20	48,96	208,5	206,5	212,6	192,5	189,5	206,6	209,5	212,8	192,5	189,6				
4383	Resplendor	LAD1	Latossolo Amarelo	4	90	PLANO	nov/01	fev/04	2,25	253	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	46,71	34,19	38,09	54,45	53,50	45,73														
3579	Santa Cruz	Law2	Latossolo Amarelo	6	50	PLANO	nov/01	fev/04	2,25	160	Belo Oriente	Belo Oriente	Rio Doce	29,50	35,81	38,09	34,80	55,50	45,73														
8459	Bamba	CXbd8	Cambissolo Latossólico	7	3	NORTE	nov/99	jul/04	4,66	135	Santa Bárbara	Nova Era	Santa Bárbara	63,47	62,41	38,80	60,24	61,58	40,35	151,1	150,6	202,4	187,2	179,0	155,6	129,7	206,8	191,1	182,9				
8460	Bamba	CXbd8	Cambissolo Latossólico	15	49	PLANO	nov/99	jul/04	4,66	135	Santa Bárbara	Nova Era	Santa Bárbara	62,50	60,62	38,80	63,56	60,99	40,35	151,1	150,6	202,4	187,2	179,0	146,2	120,3	193,5	178,6	182,9				
8590	Bamba	LVAd1	Latossolo Vermelho Amarelo	12	119	PLANO	dez/00	jul/04	3,58	115	Santa Bárbara	Nova Era	Santa Bárbara	57,02	56,53	40,11	59,38	60,75	42,94	0,1	150,6	202,4	187,2	179,0	0,1	117,8	182,0	168,6	172,2				
8592	Bamba	LVd1	Latossolo Vermelho	10	82	PLANO	jul/00	jul/04	4,00	115	Santa Bárbara	Nova Era	Santa Bárbara	55,09	55,50	37,16	60,15	58,44	39,87	57,7	150,6	202,4	187,2	179,0	53,8	120,9	189,7	175,5	178,4				
8438	Jararaca 1	LAD2	Latossolo Amarelo	8	103	PLANO	nov/99	mar/04	4,33	153	Santa Bárbara	Nova Era	Santa Bárbara	57,14	57,19	38,66	60,07	60,27	40,07	151,1	150,6	202,4	187,2	179,0	141,4	123,2	190,0	175,8	176,3				
8443	Jararaca 2	LVd2	Latossolo Vermelho	10	198	SUL	nov/99	mar/04	4,33	135	Santa Bárbara	Nova Era	Santa Bárbara	55,53	57,44	38,66	67,01	59,86	40,07	151,1	150,6	202,4	187,2	179,0	143,2	129,5	194,6	180,4	168,6				
8483	Jararaca 2	LVd1	Latossolo Vermelho	15	127	PLANO	nov/99	mar/04	4,33	146	Santa Bárbara	Nova Era	Santa Bárbara	43,57	55,90	38,66	51,24	59,96	40,07	151,1	150,6	202,4	187,2	179,0	130,1	114,2	176,4	163,5	168,5				
9411	Sabia	LVAd1	Latossolo Vermelho Amarelo	4	315	NORTE	set/00	jun/04	3,75	100	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	44,65	43,70	42,56	48,18	43,58	40,54	64,5	188,8	198,9	177,7	173,9	65,3	192,3	202,7	180,7	175,2				
7827	Cataquinho	LVD3	Latossolo Vermelho	8	319	NORTE	dez/99	jul/04	4,58	100	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	45,59	42,28	42,95	45,92	41,32	40,52	177,6	188,8	198,9	177,7	173,9	183,9	195,6	206,1	183,5	176,7				
7836	Cataquinho	CXbd5	Cambissolo Latossólico	10	196	SUL	dez/99	jul/04	4,58	100	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	47,76	41,82	42,95	43,48	40,86	40,52	177,6	188,8	198,9	177,7	173,9	171,3	191,0	191,0	171,7	166,1				
7845	Cataquinho	LVAD1	Latossolo Vermelho Amarelo	3	27	NORTE	dez/99	jul/04	4,58	100	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	72,19	41,98	42,95	74,10	41,02	40,52	177,6	188,8	198,9	177,7	173,9	177,8	188,9	199,3	177,9	174,8				
9957	Donatos	LAW1	Latossolo Amarelo	11	326	NORTE	nov/01	jan/04	2,16	195	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	34,84	33,30	31,83				53,9	198,9	177,7	173,9			54,2	208,0	185,0	177,6				
9371	Grota	CXbd5	Cambissolo Latossólico	19	126	PLANO	nov/00	jul/04	3,66	100	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	37,83	45,65	41,63	41,36	46,92	40,06	38,1	188,8	198,9	177,7	173,9	35,2	162,7	171,4	154,4	159,9				
9374	Grota	LVd1	Latossolo Vermelho	17	62	PLANO	nov/00	jul/04	3,66	180	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	47,28	44,22	41,63	47,57	43,29	40,06	38,1	188,8	198,9	177,7	173,9	34,6	176,3	187,3	166,6	172,3				
9937	Macuco Queixada	LWV1	Latossolo Vermelho	23	72	PLANO	abr/01	jan/04	2,75	204	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	22,47	32,68	34,66	29,46	37,67	33,54	154,3	198,9	177,7	173,9			137,2	178,2	158,5	167,8				
9980	Matuzalém	CXbd5	Cambissolo Latossólico	26	298	PLANO	set/01	mai/04	2,66	100	Peçanha	Guanhães	Virgínpolis	37,56																			

**Quadro 6.A** Informações sobre o solo das regiões estudadas.

Região	Projeto	Tipo de Solo	Densidade Aparente	Capacidade de Campo (%)	Ponto de Murchamento (%)
Cocais	Achado	CXBD7	1,05	31,47	21,67
Cocais	Córrego dos Machados	CXbd10	1,01	29,10	15,70
Cocais	Ribeirão Grande	CXbd10	1,01	29,10	15,70
Cocais	Ribeirão Grande	Law1 + CXbd10	1,28	32,20	17,00
Cocais	Ribeirão Grande	CXbd7	1,05	31,47	21,67
Cocais	Ribeirão Grande	Law1	1,28	32,20	17,00
Cocais	São José	CXBD9	1,34	20,21	8,90
Cocais	São José	CXBD9+CXBD14	1,34	20,21	8,90
Cocais	São José	CXBD9	1,34	20,21	8,90
Rio Doce	Bião	LAd1	1,02	46,60	21,90
Rio Doce	Boa Vista 3	CXbd5	1,06	35,70	18,60
Rio Doce	Boa Vista 3	LVAw2	1,02	46,60	21,90
Rio Doce	Boa Vista 3	CXbd5	1,10	44,40	24,30
Rio Doce	Boa Vista 4	CXbd5	1,10	44,40	24,30
Rio Doce	Boa Vista 4	LVAw1 + LVAw2	1,01	41,80	25,80
Rio Doce	Boa Vista 4	LVAw2	0,98	45,00	30,00
Rio Doce	Boa Vista 4	LVAw2	0,98	45,00	30,00
Rio Doce	Boleira	CXbd1	1,11	45,70	25,00
Rio Doce	Felicina	CXbd1	1,11	45,70	25,00
Rio Doce	Felicina	LVAD1	1,01	41,80	25,80
Rio Doce	Garapa	CXbd3	1,33	45,50	18,90
Rio Doce	Garapa	LAd1	1,02	46,60	21,90
Rio Doce	Garapa	LAd1	1,02	46,60	21,90
Rio Doce	Garrafinha	LAd1	1,02	46,60	21,90
Rio Doce	Garrafinha	CXbd3	1,33	45,50	18,90
Rio Doce	Garrafinha	LAd1	1,02	46,60	21,90
Rio Doce	Resplendor	LAD1	1,02	46,60	21,90
Rio Doce	Santa Cruz	LAW2	1,24	25,90	12,70
Santa Bárbara	Bamba	CXbd8	1,01	29,10	15,70
Santa Bárbara	Bamba	CXbd8	1,01	29,10	15,70
Santa Bárbara	Bamba	LVAd1	1,23	20,44	11,10
Santa Bárbara	Bamba	LVd1	1,13	32,00	22,00
Santa Bárbara	Jararaca 1	LAd2	1,14	24,30	10,90
Santa Bárbara	Jararaca 2	CXbd15	1,01	29,10	15,70
Santa Bárbara	Jararaca 2	LVd2	0,98	45,00	30,00
Virginópolis	Sabia	LVAd1	1,11	30,00	21,00
Virginópolis	Cataquinho	LVD3	0,97	32,50	22,30
Virginópolis	Cataquinho	Cxbd5	0,86	27,98	16,30
Virginópolis	Cataquinho	LVAD1	1,11	30,00	21,00
Virginópolis	Donatos	LAW1	1,28	32,20	17,00
Virginópolis	Grota	CXbd5	0,86	27,98	16,30
Virginópolis	Grota	LVd1	1,06	35,70	18,60
Virginópolis	Macuco Queixada	LVW1	1,06	49,20	29,90
Virginópolis	Matuzalém	Cxbd5	0,86	27,98	16,30
Virginópolis	Matuzalém	LAWF	0,95	40,7	30,11
Virginópolis	São Leonardo	LVAD1	1,01	41,80	25,80
Virginópolis	São Leonardo	LVAD1	1,01	41,80	25,80
Virginópolis	São Leonardo	LVAD1	1,01	41,80	25,80
Virginópolis	São Leonardo	LVW1	1,06	49,20	29,90