

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

AVALIAÇÃO DA INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELA
VEGETAÇÃO NA FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ, PARÁ.

LEIDIANE LEÃO DE OLIVEIRA

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2007

LEIDIANE LEÃO DE OLIVEIRA

AVALIAÇÃO DA INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELA VEGETAÇÃO NA
FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ, PARÁ.

Dissertação apresentada ao programa de
Pós-graduação em Meteorologia da
Universidade Federal de Campina Grande,
em cumprimento às exigências para
obtenção do Grau de Mestre.

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Hidrometeorologia

Orientadores: Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa – UFCG – CTRN - UACA

Prof. Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa - UFPA – CG - DM

CAMPINA GRANDE - PB

Fevereiro de 2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA
CENTRAL DA UFCG

048a Oliveira, Leidiane Leão de.
Avaliação da interceptação da precipitação pela
vegetação na floresta nacional de Caxiuanã, Pará / Leidiane
Leão de Oliveira. - Campina Grande, 2007.
123 f.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais, 2007.
"Orientação : Prof. Dr. Francisco de Assis Salviano de
Sousa, Prof. Dr. Antônio Carlos Lola da Costa".
Referências.

1. Precipitação - Pará. 2. Floresta Nacional de Caxiuanã
- Vegetação. 3. Precipitação pela Vegetação. 4. Dissertação
- Meteorologia. I. Sousa, Francisco de Assis Salviano de.
II. Costa, Antônio Carlos Lola da. III. Universidade
Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título

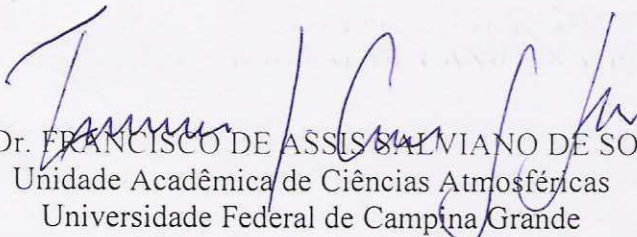
CDU 551.577(811.5)(043)

LEIDIANE LEÃO DE OLIVEIRA


AVALIAÇÃO DA INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PELA VEGETAÇÃO NA
FLORESTA NACIONAL DE CAXIUANÃ, PARÁ

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 26/02/2007

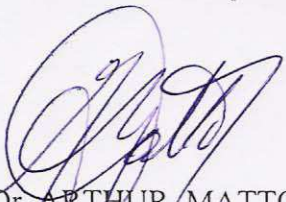
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. FRANCISCO DE ASSIS SALVIANO DE SOUSA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ENILSON PALMEIRA CAVALCANTI
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande



Prof. Dr. ARTHUR MATTOS
Departamento de Engenharia Sanitária
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

A meus pais Valdo de
Oliveira Mendes e Terezinha
de Jesus Leão de Oliveira,
DEDICO.

As minhas irmãs e sobrinha,
Luciane, Erika e Yasmin,
OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Francisco de Assis Salviano de Sousa e Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa, pela orientação e confiança depositada que possibilitou a conclusão do presente trabalho.

Aos Membros da Banca Examinadora, pelas criticas e sugestões apresentadas.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida para custeio dos estudos.

Aos colegas que participaram das atividades de campo na Estação Científica Ferreira Penna em Caxiuanã, em especial a Alan Braga pela perseverança e dedicação.

A secretária do Programa de Pós-graduação em Meteorologia, Divanete Cruz, pela atenção e assistência prestada durante o curso.

Aos meus amigos de mestrado da UFCG, em especial a Genival Silva e Wallace Lucas, pelo companheirismo e amizade.

Ao amigo Rafael Ferreira da Costa pela disposição em me auxiliar durante o presente trabalho.

Ao Dr. John Gash pela atenção dispensada na cessão dos artigos científicos.

A todos que, de alguma maneira, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	V
LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	XVI
RESUMO	XIX
ABSTRACT	XX
1. INTRODUÇÃO.....	21
1.1 OBJETIVOS.....	25
(i) Geral	25
(ii) Específicos.....	25
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	26
2.1. Ciclo hidrológico.....	26
2.2. Interceptação	29
2.3. A climatologia da bacia amazônica.....	38
2.4. Modelos numéricos para o cálculo das perdas por interceptação	40
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	44
3.1. Localização da área experimental	44
3.2. Clima	46
3.3. Vegetação e solo.....	48

3.4. O estudo da interceptação da precipitação pela vegetação dentro do Projeto ESECAFLOR	50
3.5. Experimento observacional	51
3.6. Instrumentação utilizada para a determinação da interceptação	54
3.6.1. Precipitação total incidente acima do dossel (P)	54
3.6.2. Precipitação interna (PI)	56
3.6.3. Escoamento pelos troncos (ESC)	58
3.7. Perdas por interceptação da precipitação pela vegetação (I)	60
3.8. Descrição do modelo de Rutter	62
3.8.1. Cálculo da evaporação	64
3.8.1.1. Equação de Penman-Monteith	65
3.8.2. Cálculo da drenagem	67
3.9. Descrição do modelo analítico simplificado de Gash	68
3.9.1. Teoria das equações de regressão	68
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	72
4.1. Análise das medidas realizadas entre 18 de março e 30 de dezembro	72
4.1.1. Precipitação interna	75
4.1.2. Escoamento pelo tronco	77
4.1.3. Precipitação efetiva	79
4.1.4. Interceptação da precipitação pela vegetação	81
4.2. Análise da sazonalidade	84
4.2.1. Caracterização dos períodos de estudo	84
4.2.2. Precipitação total incidente acima do dossel para as estações chuvosa e seca	88

4.2.3. Precipitação interna para as estações chuvosa e seca.....	89
4.2.4. Precipitação efetiva para as estações chuvosa e seca.....	92
4.2.5. Escoamento pelos troncos para as estações chuvosa e seca.....	93
4.2.6. Interceptação da precipitação pela vegetação para as estações chuvosa e seca.....	97
4.3. Aplicação de modelagem para estimativa da interceptação.....	100
4.3.1. Modelo de Rutter.....	100
4.3.1. Modelo analítico simplificado de Gash.....	103
4.3.2. Comparação entre o modelo de Rutter e o modelo de Gash.....	107
5. CONCLUSÃO.....	111
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação.	27
Figura 2. Localização de Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará.	45
Figura 3. Temperatura do ar média mensal em Caxiuanã, Pará, no período de 1996 a 2003. Fonte: Ferreira da Costa <i>et al.</i> (2003).....	46
Figura 4. Precipitação mensal total acima do dossel para o ano de 2004. Os círculos representam as médias mensais, e as linhas verticais os desvios padrões, respectivamente, no período de 1996 a 2003, para a FLONA de Caxiuanã, Pará.....	47
Figura 5. Fotografia hemisférica da vegetação superior na subparcela 35 da área experimental. Fonte ESECAFLOR.....	49
Figura 6. Esquema da área experimental e as posições possíveis de coleta.....	53
Figura 7. Localização e vista aérea da torre micrometeorológica com 52m de altura, distante cerca de 2 km da parcela usada no experimento de interceptação da precipitação pela vegetação.....	54
Figura 8. Torre micrometeorológica com 52m de altura vista do solo.	55
Figura 9. Pluviógrafo instalado no topo da torre micrometeorológica.....	55
Figura 10. Pluviômetro utilizado para quantificar a precipitação interna.	57
Figura 11. Anel coletor para captação da água escoada pelos troncos das árvores e o reservatório no solo conectado por uma mangueira plástica.....	59
Figura 12. Detalhes do anel coletor utilizado para captar a quantidade de água escoada pelos troncos das árvores e drenada pelas mangueiras plásticas para um reservatório na superfície.....	59

Figura 13. Fluxograma conceitual do processo de interceptação da precipitação pela vegetação e a precipitação que efetivamente chega ao solo. Adaptado de Valente <i>et al.</i> (1997).....	62
Figura 14: Fluxograma do modelo de Rutter. Adaptado de (Rutter <i>et al.</i> , 1971)	64
Figura 15. Precipitação horária, com intensidades maiores que 1,6 mm h ⁻¹ durante o ano de 2004, na FLONA de Caxiuanã, Pará	73
Figura 16. Precipitação acumulada no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004. Foram considerados eventos superiores a 1,6 mm h ⁻¹ de precipitação	74
Figura 17. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (<i>P</i>) e a precipitação interna (<i>PI</i>), em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004.....	76
Figura 18. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (<i>P</i>) e o escoamento pelo tronco (<i>ESC</i>), em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004.....	78
Figura 19. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (<i>P</i>) e a precipitação efetiva (<i>PE</i>), em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004.....	80
Figura 20. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (<i>P</i>) e a interceptação da precipitação (<i>I</i>), em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004.....	82
Figura 21. Valores semanais acumulados da precipitação total incidente acima do dossel (<i>P</i>), precipitação interna (<i>PI</i>), precipitação efetiva (<i>PE</i>) e interceptação da precipitação pela vegetação (<i>I</i>), em Caxiuanã, Pará, entre março e dezembro de 2004.....	84
Figura 22. Variações temporais da precipitação total acima do dossel (<i>P</i>), precipitação interna (<i>PI</i>), precipitação efetiva (<i>PE</i>) e interceptação (<i>I</i>), durante o ano de 2004, as áreas sombreadas representam os períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco), as áreas	

sombreadas representam os períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	85
Figura 23: Precipitação total acima do dossel (P), precipitação interna (PI), precipitação efetiva (PE) e interceptação (I), acumuladas durante o ano de 2004, nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	87
Figura 24. Precipitação total incidente acima do dossel (P) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	89
Figura 25. Precipitação interna (PI) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	90
Figura 26. Correlação entre precipitação acima do dossel (P) e a precipitação interna (PI), durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	91
Figura 27. Precipitação efetiva (PE) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	92
Figura 28. Correlação entre precipitação acima do dossel (P) e a precipitação efetiva (PE), durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	93
Figura 29. Escoamento pelo tronco (ESC) acumulado durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	94
Figura 30. Correlação entre precipitação total incidente acima do dossel (P) e o escoamento pelo tronco (ESC), durante o ano de 2004, nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)	95

Figura 31. Interceptação da precipitação pela vegetação (<i>I</i>) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco).....	98
Figura 32. Correlação entre precipitação total incidente acima do dossel (<i>P</i>) e a interceptação da precipitação pela vegetação (<i>I</i>) durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco).....	99
Figura 33. Precipitação acumulada para a FLONA de Caxiuanã, considerando-se todas as intensidades de chuva (quadrados vazios), durante todo o ano de 2004. E a precipitação acumulada (círculos cheios) durante quarenta semanas, considerando-se chuvas maiores que 1,6 mm h ⁻¹ , entre março e dezembro de 2004	101
Figura 34. Interceptação acumulada medida (círculos cheios) e estimada pelo modelo de Rutter (triângulos vazados) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004.....	102
Figura 35. Correlação entre a interceptação acumulada medida e estimada pelo modelo de Rutter para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004	103
Figura 36. Precipitação média horária (círculos cheios) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta semanas, considerando-se chuvas maiores que 1,6 mm h ⁻¹ , entre março e dezembro de 2004. As barras verticais são os desvios-padrão	104
Figura 37. Evapotranspiração média horária (círculos cheios) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta semanas, entre março e dezembro de 2004. As barras verticais são os desvios-padrão.....	105
Figura 38. Interceptação acumulada medida (círculos cheios) e estimada pelo modelo de Gash (1979) (quadrados vazados) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004.....	106

Figura 39. Correlação entre a interceptação acumulada medida e estimada pelo modelo de Gash (1979) simplificado para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004.....	107
Figura 40. Interceptação acumulada medida (círculos cheios), estimada pelo modelo de Gash simplificado (quadrados vazados) e estimada pelo modelo de Rutter (triângulos vazados) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004.....	108

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Classificação das árvores da parcela *A* por classe. Diâmetro à altura do peito (DAP) (cm), quantidade de exemplares e percentuais. 52
- Tabela 2. Diâmetro a altura do peito – DAP das sete árvores onde foram instalados os interceptômetros. 58
- Tabela 3. Valores dos parâmetros da vegetação utilizados para a modelagem de *I* na FLONA de Caxiuanã, durante quarenta coletas semanais no ano de 2004..... 67
- Tabela 4. Valores dos parâmetros utilizados no cálculo do modelo simplificado de Gash (1979), para quarenta medidas semanais realizadas entre março e dezembro de 2004 para a FLONA de Caxiuanã..... 71
- Tabela 5. Valores da precipitação total incidente acima do dossel (*P*), precipitação interna (*PI*), escoamento pelos troncos (*ESC*) e perdas por interceptação (*I*) em Caxiuanã, Pará para o período de 18 de março a 30 de dezembro 2004 em (mm) e (% de *P*) 73
- Tabela 6 - Comparativo dos valores (%) obtidos de *PI*, *I* e *ESC* para estudos realizados em diferentes sítios experimentais na Amazônia brasileira. 75
- Tabela 7. Modelos numéricos obtidos pelas regressões lineares entre a precipitação acima do dossel (*P*) e as demais variáveis: Precipitação interna (*PI*), Precipitação efetiva (*PE*), escoamento pelos troncos (*ESC*), e interceptação (*I*) durante quarenta coletas semanais no período de 18 de março a 30 de dezembro de 2004..... 82
- Tabela 8. Valores sazonais em (mm) e (% em relação a *P*) de Precipitação Interna (*PI*), Escoamento pelos troncos (*ESC*), Precipitação Efetiva (*PE*), e Interceptação (*I*) para o período chuvoso, 18 de março a 27 de junho, e seco, 02 de agosto a 28 de novembro de 2004 86
- Tabela 9. Modelos numéricos obtidos pelas regressões lineares entre a precipitação acima do dossel (*P*) e as demais variáveis: Precipitação interna (*PI*), precipitação efetiva (*PE*), escoamento pelos troncos (*ESC*), e interceptação

(<i>I</i>) durante os períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e de 02 de agosto a 28 de novembro de 2004 (seco)	96
Tabela 10. Equações de regressões lineares entre os valores medidos (<i>x</i>) e estimados (<i>y</i>) da <i>I</i> acumulada para Caxiuanã durante quarenta coletas semanais no período de 18 de março a 30 de dezembro de 2004	107
Tabela 11. Comparação entre os resultados obtidos pela aplicação dos modelos de Rutter e Gash para estimativa de <i>I</i> em diferentes tipos de vegetação.	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

a e b	Coefficientes de regressão
A_f	Área de captação do funil
A_t	Área total
b	Taxa de aumento da drenagem com a variação de C
C	Condensação
C_c	Quantidade de água armazenada no dossel
C_p	Calor específico do ar a pressão constante
C_t	Quantidade de água armazenada nos troncos
d	Deslocamento do plano zero do perfil do vento
D	Drenagem
DAP	Diâmetro à altura do peito
D_s	Drenagem quando ($C = S$)
E	Taxa de evaporação da água interceptada pelo dossel
E_{al}	Evaporação da água livre
ECFPn	Estação Científica Ferreira Penna
E_p	Evapotranspiração potencial
E_r	Taxa de evaporação durante a chuva
E_s	Evaporação do solo
ESC	Escoamento da água de chuva pelos troncos
$e_s - e_a$	Déficit de pressão de vapor do ar
ESECAFLOR	O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica
E_t	Taxa de evaporação da água armazenada nos troncos
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
FLONA	Floresta Nacional
g	Gotejamento
I	Interceptação da precipitação pela vegetação
IAF	Índice de área foliar
I_f	Infiltração
k	Constante de Von Karman

K_i	Evaporação da superfície plana projetada pela copa da árvore no solo
MPEG	Museu Paraense Emílio Goeldi
p	Coefficiente de precipitação livre direta
P	Precipitação total incidente acima do dossel
P'	Total de chuva necessária para saturar o dossel
P_c	Perímetro do tronco das árvores com os interceptômetros
P_{ca}	Perímetro total dos troncos
PE	Precipitação efetiva
PI	Precipitação interna
p_t	Proporção de chuva que escorre pelos galhos e tronco
R	Escoamento superficial
r_a	Resistência aerodinâmica
REBIO	Reserva Biológica
RFD	Reserva Florestal Ducke
R_n	Saldo de radiação
S_c	Capacidade de armazenamento do dossel
S_i	Capacidade de armazenamento de água pelo dossel vegetal
SIB	Simple Biosphere Model
S_t	Capacidade armazenamento na superfície dos troncos
t	Tempo de duração da chuva
T	Temperatura do ar
T_r	Transpiração
TSM	Temperatura da superfície do mar
UR	Umidade relativa do ar
U_z	Velocidade do vento medida à altura z (56 m)
V	Vazão
V_e	Volume total escoado pelo tronco
V_l	Volume de chuva lido na proveta
V_v	Velocidade média do vento
Z	Altura de medição da velocidade do vento
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

Z_o	Rugosidade superfície
ΔC	Varição da quantidade de água armazenada no dossel
ΔC_t	Varição da quantidade de água armazenada nos troncos
Δ	Declividade da curva de pressão de vapor contra a temperatura
γ	Constante psicrométrica
ρ	Densidade do ar

RESUMO

Os dados para a realização do presente trabalho foram obtidos na Estação Científica Ferreira Penna, na Floresta Nacional de Caxiuanã, Melgaço, Pará, Brasil (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 60 m altitude). A região de estudo é uma floresta de terra firme, com vegetação densa e dossel com altura média de 35 m e árvores emergentes acima de 50 m, e densidade variando de 450 a 550 árvores por hectare. Os objetivos foram de quantificar a precipitação total incidente acima do dossel, a precipitação efetiva e precipitação interna, o escoamento da água da chuva pelos troncos e as perdas por interceptação da precipitação pela vegetação, suas variações sazonais nas épocas chuvosa e seca, e as estimativas da interceptação por modelagem numérica, no período de março a dezembro de 2004. Para a medida da precipitação interna foram utilizados 25 pluviômetros distribuídos aleatoriamente em uma área de um hectare, subdividida em 100 parcelas de 10 x 10 m, enquanto que os escoamentos pelos troncos foram medidos em sete árvores com diâmetro à altura do peito representativos para a área. O estudo revelou a precipitação efetiva de 905,4 mm e precipitação interna de 885,4 mm, um escoamento pelos troncos de 20 mm, e interceptação de 248 mm, correspondendo, a 78,5%, 76,8%, 1,7% e 21,5% da precipitação total incidente acima do dossel, que foi de 1153,4 mm, no período de estudo, respectivamente. As estimativas de interceptação foram simuladas com bom nível de eficiência, utilizando os modelos de Rutter e Gash. O modelo de Gash superestimou a interceptação em 17,3% (42,8 mm) do total acumulado, enquanto o modelo de Rutter superestimou em apenas 0,5% (1,1 mm) do total acumulado da interceptação, ambos para o período de março a dezembro de 2004.

Palavras-chave: Caxiuanã, Floresta Tropical, Interceptação, Modelos de Rutter e de Gash.

ABSTRACT

The data for the present work were obtained in the Ferreira Penna Scientific Station, into the Caxiuanã National Forest, Melgaço, Pará, Brazil (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 60 m a.s.l.). The study region is an upland forest region with closed vegetation and canopy average 35 m high and some trees with 50 m high, the species density between 450 and 550 plants per hectare. The aims were to measure the precipitation above canopy, net precipitation, throughfall, stemflow and rain interception, the seasonal variability during rainy and drought periods and estimations for numerical modelling, from March to December of 2004. For the throughfall measurements were used 25 rain gauges randomly distributed into the one hectare area subdivided in 100 parcels of 10 x 10 m, while the stemflow were measured at 7 trees with stem diameter at breast height representative of the area. Studies results showed values of net precipitation of 905.4 mm, throughfall of 885.4 mm, stemflow 20 mm and rain interception of 248 mm corresponding respectively to 78.5%, 76.8%, 1.7% e 21.5% of total precipitation above canopy which was 1153.4 mm for the studied period. The rain interception estimations were simulated within a good level using Rutter's and Gash's models. The Gash model overestimated in 17.3% (42.8 mm) for accumulated rain interception while the Rutter model overestimated only 0.5% (1.1 mm) for accumulated rain interception, both from March to December of 2004.

Keywords: Caxiuanã, Rainforest, Rain Interception, Rutter and Gash models.

1. INTRODUÇÃO

Uma das componentes do ciclo hidrológico é a interceptação, para melhor entendimento, descreve-se o processo. Parte da precipitação que em contato com a vegetação se acumula nas folhas e ramos sendo devolvida à atmosfera por evaporação. Essa parcela é chamada de interceptação. A influência da vegetação no recebimento e redistribuição das chuvas tem importância significativa dentro do contexto do balanço hídrico de um determinado local. Em geral, os pluviômetros e pluviógrafos são colocados acima da vegetação rasteira, afastados de obstáculos florestais ou acima das copas das árvores (torres meteorológicas), tendendo a superestimar o montante da precipitação disponível para o escoamento superficial que atinge a rede hidrológica, e o processo de infiltração que favorece os lençóis subterrâneos. Desta maneira, o volume registrado não estará contribuindo efetivamente no sistema.

Do ponto de vista de conservação dos recursos hídricos, torna-se essencial o conhecimento quantitativo do processo de interceptação, pois representa um volume de água

que, não chegando ao solo, é evaporada para a atmosfera. Em virtude da importância deste processo é necessário o conhecimento da interceptação pela vegetação da floresta Amazônica.

Para Nobre *et al.* (1991) as evidências observacionais disponíveis sugerem que a Amazônia é altamente eficiente na reciclagem da água na atmosfera, a substituição da floresta por pastagens não manteria a elevada taxa de evapotranspiração. Essa e outras mudanças podem indicar a existência de uma significativa sensibilidade do clima regional à presença ou ausência da floresta tropical. Medidas realizadas durante o Experimento ABLE 2b (Amazonian Boundary Layer Experiment, 1987) determinaram em média, uma evapotranspiração que representou 55% da precipitação medida, (5,3 e 9,7 mm dia⁻¹, respectivamente).

A distribuição da precipitação observada na América do Sul tropical apresenta grandes áreas onde os totais anuais alcançam mais de 3000 mm. No leste dos Andes e na costa Oeste da Colômbia os totais atingem até 5000 mm ano⁻¹, devido principalmente ao levantamento mecânico dos fluxos de ar dos baixos níveis pela topografia. Das Guianas até o Estado do Maranhão na costa Atlântica, as propagações da brisa marítima e das linhas de instabilidade para Oeste proporcionam precipitações acima de 3000 mm ano⁻¹ (Kousky 1980; Cohen *et al.* 1989) apud Nobre *et al.* (1991); as razões para esta máxima precipitação registrada no Oeste da Amazônia não são bem entendidas, mas há sugestões de que a forma côncava da Cordilheira dos Andes favoreceria a convergência dos fluxos de umidade de baixos níveis predominantemente de Leste (Nobre 1983, apud Nobre *et al.* 1991; Salati e Vose, 1984). Além dessas características, há uma grande precipitação máxima anual acima de 2000 mm estendendo-se de Sudoeste para Sudeste da Amazônia, combinando-se com as áreas de grandes precipitações da área da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Nobre *et al.* (1991).

Salati *et al.* (1979) estudando as medidas de concentração de oxigênio em água da chuva na região Amazônica, através das técnicas isotópicas, determinaram que a precipitação na região é uma composição da quantidade de água evapotranspirada localmente somada a uma contribuição advinda do Oceano Atlântico, estimando assim, que cerca de 50% do vapor d'água que formam as chuvas são gerados por evapotranspiração local, sendo a outra metade importada para a região pelo fluxo atmosférico proveniente do Atlântico. A contribuição do Oceano Pacífico seria mínima (Salati e Vose, 1984).

Marques *et al.* (1980) usando a divergência do fluxo de vapor d'água na Amazônia, estimaram um balanço de água em que 52% da precipitação ocorrida entre Belém e Manaus são proveniente do Oceano Atlântico e os 48% restante seriam reciclados localmente.

Para a região Amazônica, segundo Fisch *et al.*, 1998, o período de chuvas, ou forte atividade convectiva é compreendido entre novembro e março, sendo o período de seca entre os meses de maio e setembro, sem grande atividade convectiva. Os meses de abril e outubro são meses de transição entre um regime e outro. A distribuição de chuva no trimestre dezembro – janeiro - fevereiro apresenta uma região de precipitação alta (acima de 900 mm) situada na parte Oeste e central da Amazônia e o máximo da chuva na região central da Amazônia (próximo de 5°S) pode estar sendo associado com a penetração de sistemas frontais da região sul, interagindo e organizando a convecção local.

Muitos experimentos de coleta de dados de interceptação da precipitação, que iniciaram na década de 1920 nos países Ocidentais, têm ajudado no entendimento do processo de interceptação de uma forma global. Entretanto, como o mecanismo de interceptação sobre o regime hídrico está associado, principalmente, às contribuições relativas de uma cobertura florestal específica e das condições climáticas presentes, são necessários estudos direcionados para cada situação exclusiva.

O estudo proposto contribuirá para a determinação de um percentual da precipitação interceptada pela vegetação, gerando informações dessa componente do ciclo hidrológico para a região da Amazônia Oriental que ainda tem poucos estudos a respeito.

A quantidade de água interceptada durante as chuvas, dada a extensão da cobertura vegetal Amazônica, deve responder com a introdução de consideráveis quantidades de massa de vapor d'água na atmosfera, atuando no equilíbrio hídrico na região (Franken *et al.*, 1982a).

Como já citado, há poucos trabalhos realizados para regiões tropicais, especialmente para a floresta Amazônica. No Estado do Pará, Ubarana (1994) realizou estudo experimental na Reserva Vale do Rio Doce no município de Marabá, Sudeste do Estado, uma floresta com significativa presença de palmeiras de diferentes espécies em sua composição.

No presente estudo realizado em Caxiuanã, onde a floresta não apresenta significativa incidência de palmeiras, esperam-se resultados de interceptação, específicos para sua morfologia florestal. O que contribuirá para um melhor entendimento do ciclo hidrológico da Amazônia, em particular as florestas de terra firme de sua parte Oriental.

Nesse estudo, definiu-se a seguinte nomenclatura, que será adotada no trabalho. A água coletada acima da cobertura vegetal é a precipitação total acima do dossel (P). A precipitação interna (PI) é a parte da água que foi drenada pelo dossel e chega ao solo através de gotejamento, somada à parte que atinge diretamente a superfície atravessando a cobertura vegetal. Escoamento pelo tronco (ESC) é a parcela da precipitação que foi retida pela vegetação e foi escoada pelos galhos e troncos. A soma da PI com o ESC resulta na precipitação efetiva (PE). Interceptação (I) é a quantidade de água perdida por evaporação ocorrida na superfície das folhas, troncos e ramos, Ubarana (1994 e 1996).

1.1 OBJETIVOS

O presente estudo possui os seguintes objetivos:

(i) *Geral*: Quantificar e avaliar a interceptação da precipitação pela vegetação (I) através das mensurações da precipitação total incidente acima do dossel (P), precipitação interna (PI), precipitação efetiva (PE) e o escoamento pelos troncos (ESC) na FLONA de Caxiuanã, Pará, Brasil, na área do experimento ESECAFLO (O Impacto da Seca Prolongada nos Fluxos de Água e Dióxido de Carbono em uma Floresta Tropical Amazônica), que investiga a influência da exclusão de água do solo sobre o ecossistema de floresta, no ano de 2004.

(ii) *Específicos*: a) Quantificar I em uma floresta tropical chuvosa no Nordeste da Amazônia Brasileira durante o ano de 2004; b) Analisar as variações sazonais da PE , PI , ESC e I , durante as épocas, chuvosa e seca do ano de 2004; c) Aplicar os modelos numéricos de Rutter (1971, 1975) e analítico simplificado de Gash (1979), descrevendo seus passos para o cálculo da estimativa da I e comparação com valores reais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Ciclo hidrológico

Os processos físicos que controlam a distribuição e o movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera são melhores compreendidos se descritos como ciclo hidrológico.

Villela e Mattos (1975) destacam a precipitação e a evaporação como os fatores climáticos mais importantes no balanço hidrológico de uma região.

A representação esquemática do ciclo hidrológico no meio ambiente natural é mostrada na Figura 1, onde P é a precipitação, p a precipitação livre, I a interceptação, C a condensação, T_r a transpiração, E_s evaporação do solo, E_{al} evaporação da água livre, g o gotejamento, ESC escoamento pelos troncos, R o escoamento superficial, ESC_{sub} escoamento subterrâneo, I_f infiltração, c capilaridade, V vazão.

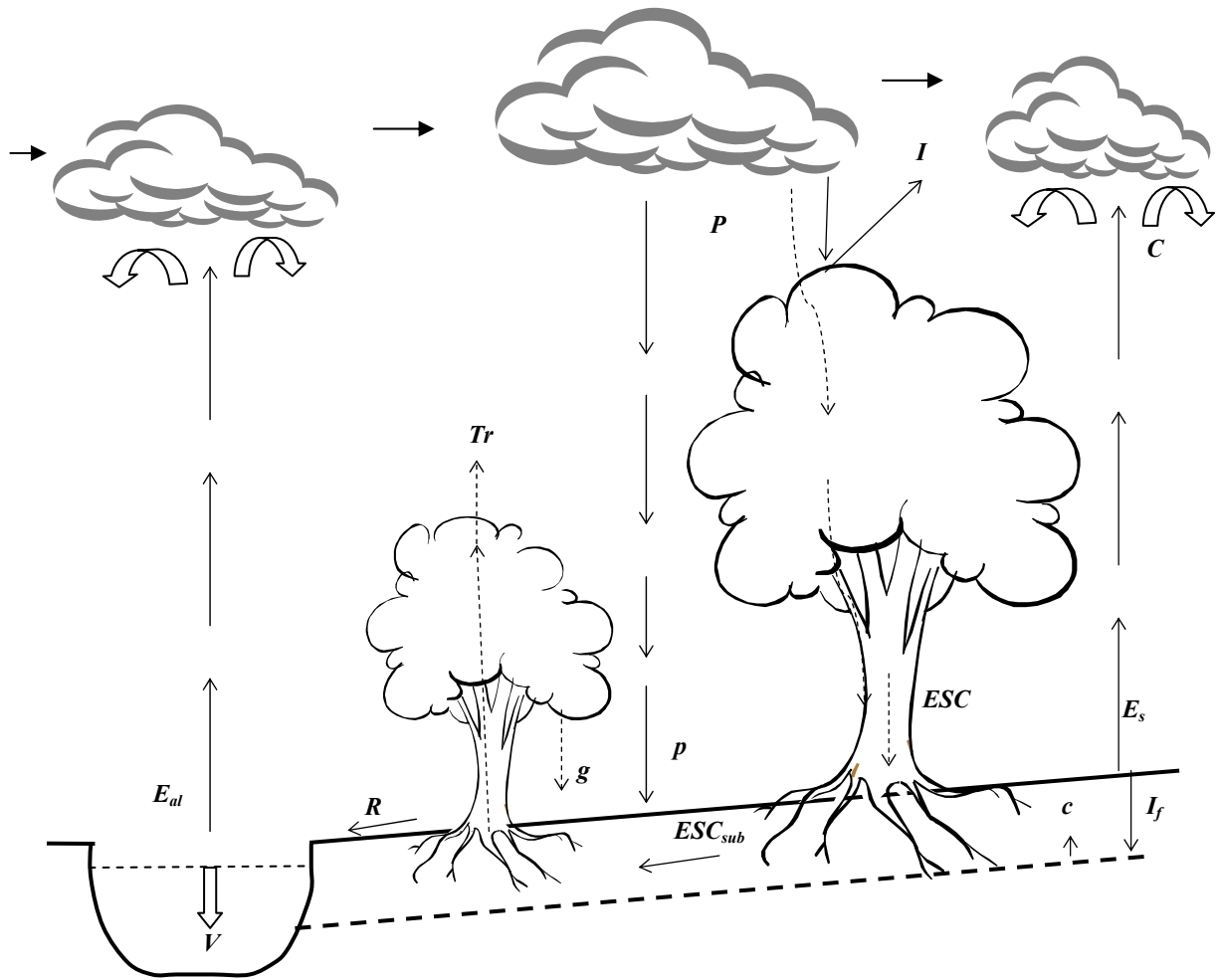


Figura 1. Ciclo hidrológico enfatizando o processo de interceptação da precipitação pela vegetação

Segundo Tucci (2004), o ciclo hidrológico pode ser dividido em etapas para melhor compreensão: condensação; precipitação; interceptação; infiltração; escoamento superficial; escoamento subterrâneo; transpiração e evaporação. A precipitação é uma etapa do ciclo hidrológico, cuja forma mais freqüente é a chuva, que ocorre quando o vapor d'água presente na atmosfera que, sob determinadas condições meteorológicas, condensa-se se aglutina formando as nuvens, microgotículas que se agrupam até ter tamanho e peso suficiente para precipitar sob a forma de chuva, neve ou granizo. No trajeto em direção à superfície terrestre a

precipitação já sofre evaporação. Em algumas regiões esta evaporação pode ser significativa, existindo casos em que a precipitação é totalmente vaporizada. Na etapa seguinte. Parte da precipitação que cai sobre um solo com cobertura vegetal, parte do volume precipitado sofre interceptação em folhas e caules, de onde evapora. Excedendo a capacidade de armazenar água na superfície dos vegetais, ou por ação dos ventos, a água interceptada pode-se reprecipitar para o solo.

Para Tucci, a água que atinge o solo segue diversos caminhos. Como o solo é um meio poroso, há infiltração de toda precipitação que chega ao solo, enquanto a superfície do solo não se satura. A partir do momento da saturação superficial, à medida que o solo vai sendo saturado a maiores profundidades, a infiltração decresce até uma taxa residual, com o excesso não infiltrado da precipitação gerando escoamento superficial. A infiltração e a percolação no interior do solo são comandadas pelas tensões capilares nos poros e pela gravidade. A umidade do solo realimentada pela infiltração é aproveitada em parte pelos vegetais, que absorvem pelas raízes e a devolvem, quase toda, à atmosfera por transpiração, na forma de vapor de água. O que os vegetais não aproveitam, percola para o lençol freático que normalmente contribui para o escoamento de base dos rios.

O escoamento superficial é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas, vencendo principalmente o atrito com a superfície do solo. Em qualquer tempo e local por onde circula a água na superfície terrestre, seja nos continentes ou nos oceanos, há evaporação para a atmosfera, fenômeno que fecha o ciclo hidrológico ora descrito, (Tucci, 2004).

2.2. Interceptação

A interceptação da precipitação pluvial pela cobertura vegetal é uma das principais componentes do ciclo hidrológico. A interceptação varia de acordo com o aspecto morfológico da floresta e o regime de precipitação dominante na região. A precipitação pluvial que atingirá o solo depende da natureza e densidade da cobertura vegetal, haja vista, que a cobertura vegetal retém e armazena temporariamente certa quantidade de precipitação incidente, constituindo-se, assim, no processo de interceptação da precipitação pela vegetação.

No início do século XX já havia interesse por estudos na área da interceptação da precipitação pela vegetação. Horton (1919) descreveu os princípios físicos da interceptação da precipitação pela vegetação (I), já naquela época, eram senso comum as observações de que os percentuais de chuva que atingiam o solo em uma floresta ou em uma plantação agrícola, em estágio avançado de crescimento são muito menores do que o total de chuva medido em uma área aberta, ou acima da vegetação. No início da precipitação, as primeiras gotas que atingem as folhas são retidas em sua maioria, se espalhando sobre a superfície foliar formando uma fina camada líquida que se deposita em gotas maiores em pequenas depressões e nas bordas das folhas. Somente uma pequena parte alcança o solo antes que a capacidade de retenção de água pela folha seja atingida, dependendo da posição da superfície foliar, se horizontal ou inclinada, da forma da folha, da velocidade do vento, da intensidade da chuva, e do tamanho e impacto das gotas.

Horton em seu estudo deixou claro que o total de interceptação em um evento de chuva compreende dois elementos, o armazenamento da água interceptada pela vegetação e a sua evaporação. Se o volume de chuva é suficiente para que galhos e folhas atinjam um estágio no qual não possam mais armazenar água em sua superfície, haverá o gotejamento do volume excedente. Mesmo durante a chuva ocorrerá uma considerável perda por evaporação

da água retida na superfície foliar. Assim como essa perda por evaporação continua e depois que a capacidade de armazenamento do dossel é atingida o total de chuva que atingirá o solo será determinado pela diferença entre as taxas de chuva e de perda por evaporação. Após o término da chuva, o armazenamento interceptado permanecerá na vegetação e conseqüentemente evaporará.

Em estudos realizados em diferentes tipos de florestas pelo mundo, alguns autores obtiveram valores de perdas por interceptação acima de 30% da precipitação total incidente acima do dossel. Segundo Gash e Stewart (1977) e Gash *et al.* (1980) para florestas temperadas, as perdas por interceptação vão variar de acordo com os aspectos morfológicos das florestas e os regimes de precipitação dominantes em cada área.

Percentualmente, o escoamento pelo tronco contribui pouco para os cálculos dos totais interceptados em relação a precipitação total incidente acima do dossel. Entretanto, alguns autores consideram o volume escoado pelo tronco como um mecanismo de auto-abastecimento resultante da distribuição localizada e significativa ao redor dos troncos, principalmente durante o período seco, quando se registram precipitações de baixos valores e frequência (Price, 1982; Huber e Oyarzún, 1983).

Lima e Nicolielo (1983) estudaram a precipitação efetiva e as perdas por interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em uma reserva de “cerradão”, durante o período entre julho de 1977 a junho de 1980, totalizando três anos de medição da precipitação total acima do dossel e da precipitação interna em florestas de variedades de *Pinus Caribaea* Var *Hondurensis* e *Pinus Oocarpa*, evidenciando 13 anos de idade de ambas, e em uma reserva de “cerradão” no município de Agudos, Estado de São Paulo, sendo que o objetivo do estudo foi determinar a precipitação efetiva e as perdas por interceptação, de forma comparativa entre a

cobertura original de “cerradão” e as plantações homogêneas com espécies de pinheiros tropicais.

A metodologia adotada por Lima e Nicolielo para obtenção de dados de precipitação que foram medidas semanalmente em três pluviômetros localizados em áreas abertas, próximos as parcelas florestadas, sendo que para medição da precipitação interna nos povoamentos florestais, utilizaram-se pluviômetros distribuídos ao acaso. Foram 10 pluviômetros para cada uma das parcelas de pinheiros tropicais e 16 para a parcela de “cerradão”, a leitura dos pluviômetros era semanal, logo após, eles eram recolocados dentro de cada parcela, está metodologia de leitura semanal e aleatoriedade na distribuição dos pluviômetros também foi adotada neste estudo de interceptação na FLONA de Caxiuanã, Pará, com exceção do *ESC* que no estudo realizado por Lima e Nicolielo (1983) foi desprezado, devido não fazer parte dos objetivos almejados pelos autores. Os resultados dos valores semanais da precipitação medida em aberto e da precipitação interna medida dentro das parcelas de pinheiros tropicais e do “cerradão” foram submetidos à análise de regressão linear. A precipitação efetiva média dentro das florestas de pinheiros tropicais foi de 88%, enquanto que no “cerradão” foi de 72,7% da precipitação total acima do dossel.

Lima e Nicolielo analisaram os resultados em integração com outros aspectos do ciclo hidrológico que também foram medidos durante o período experimental, e verificaram as possíveis alterações hidrológicas que podem ocorrer em decorrência da substituição de vegetação natural de “cerradão” por florestas homogêneas de pinheiros tropicais. Chegando as seguintes conclusões quanto a estas substituições mencionadas acima, houve diminuição nas perdas por interceptação, para as condições do experimento, em aproximadamente 130 mm anuais. Levando em conta que esta substituição não causou efeitos adversos ao regime de

água do solo, esta economia no balanço hídrico representa muito em termos da maior produtividade alcançada pelas florestas homogêneas de pinheiros tropicais.

Lima (1986) relatou a importância das condições meteorológicas sobre as perdas por interceptação, observando que a ocorrência de vento tem influência direta na evaporação da água interceptada pela vegetação. Todavia, o efeito real do vento sobre as perdas por interceptação é função de outros fatores tais como; velocidade do vento, umidade relativa do ar, da duração e intensidade de chuva.

Singh (1987), em estudo desenvolvido em plantações de *Pinus Wallichiana*, em uma região temperada da Índia, encontrou que as perdas por interceptação foram de 21%, enquanto que o escoamento pelos troncos alcançou 2,7% e a precipitação interna representou 76,2% da precipitação total incidente acima do dossel. Nesse estudo foi importante a verificação de que a quantidade da água da chuva perdida por interceptação depende além das características da espécie vegetal e do seu estágio de desenvolvimento, também da estação do ano e da velocidade do vento.

Lloyd e Marques Filho (1988), através de experimento observacional na Reserva Florestal Ducke próxima à Manaus, Amazonas obtiveram os seguintes resultados. O total acumulado de P para o período de estudo de 3 de setembro de 1983 a 21 agosto 1985 foi 4804 mm. O total de I correspondeu a 8,9% de P , ou seja, 428 mm. O total de precipitação interna PI foi de 4286 mm (89% de P) a contribuição do ESC foi de 90 mm (1,8% de P).

O estudo de Lloyd e Marques Filho foi um dos pioneiros na Amazônia, depois dele outros se basearam na sua metodologia experimental. Vale ressaltar os métodos realizados nesse trabalho, pois, o mesmo serve de base até hoje para implementação de experimentos para mensurar a interceptação da precipitação pela vegetação. Segundo os autores, a forma

retangular do lote não é aleatória, pois este padrão permite o fácil acesso ao interior do lote sem os conseqüentes danos a vegetação rasteira, além de incluir um grande número de árvores dominantes. Também existem pequenos erros na coleta da precipitação total incidente acima do dossel, mas são considerados insignificantes. Sendo que estes erros aumentam quando a velocidade do vento é alta e as gotas de chuva pequenas.

Na *PI* Lloyd e Marques Filho observaram a necessidade de vários coletores de medições para sua amostragem, além de uma aleatoriedade na reposição para longos períodos de tempo. Essa aleatoriedade seria o procedimento indicado para proporcionar estimativas mais precisas da precipitação interna em florestas tropicais. O *ESC* alcançou valores altos na amostragem por árvore individual. Eles detectaram volumes bastante elevados em algumas espécies de palmeiras, isso se deve a sua morfologia vegetal. Apesar de o *ESC* contribuir muito pouco para os cálculos dos totais interceptados de *P*. É importante observar que a variabilidade *I* em florestas tropicais é comumente atribuída á alta diversidade de espécies.

Em estudo para comparar as estratégias de amostragens para análise da *PI* em uma floresta tropical em Luquillo Mountains, no nordeste de Porto Rico, Holwerda *et al.* (2006) concluíram que seriam necessários cem pluviômetros fixos, para se obter um resultado similar ao obtido com trinta pluviômetros móveis, com nível de confiança de 95%.

Ubarana (1994) estudou o processo de interceptação da precipitação pelo dossel da floresta tropical úmida Amazônica do tipo terra firme, em três sítios experimentais: Reserva Florestal Ducke (RFD) no Amazonas; Reserva Biológica (REBIO) do Jarú em Rondônia, e a Reserva Vale do Rio Doce (RVRD) no Pará. Durante o período de agosto de 1992 a setembro de 1993. Utilizando o modelo SIB (*Simple Biosphere Model*) e o modelo específico ao processo de interceptação denominado modelo de Rutter. Esse autor comparou os resultados obtidos pelos dois modelos, para a RFD e as perdas por interceptação *I* estimadas foram de

10,9% e 12,9% da P , pelos modelos SIB e Rutter, respectivamente. Na REBIO Jarú e na RVRD as perdas por interceptação I obtidas por dados observacionais de I medidas foram de 12,5% e 13,0%, respectivamente.

Lima e Leopoldo (1999) estudaram as perdas por I por mata ciliar na região central do Estado de São Paulo, durante um experimento no período de outubro de 1996 a setembro de 1997 no município de Botucatu, onde a metodologia adotada para obtenção dos dados foi; a precipitação total determinada por meio da utilização de um pluviômetro com área de captação de 76,7 cm², instalado em local aberto, a uma distância de aproximadamente 10m da bordadura da cobertura vegetal em estudo e nivelado a 0,90 m do solo; para determinação da precipitação interna foram utilizados 24 pluviômetros com uma superfície de captação média de 175,1 cm², que foram instalados no interior da mata ciliar obedecendo a um espaçamento de 5 m, nivelados e colocados a uma altura de 0,90 m do solo, determinando uma distribuição em malha de 30x20 m. sendo que após 5 eventos de chuva essa posição era recolocada de maneira aleatória dentro da mata. As leituras eram realizadas após o gotejamento de toda água da cobertura vegetal (para chuvas individuais). Era feita a média aritmética do volume precipitado nos respectivos pluviômetros em relação a sua área média, obteve-se a altura de água em milímetros relativa à PI .

Para determinação do ESC , Lima e Leopoldo selecionaram 20 árvores representativas, as quais foram envolvidas por um segmento de mangueiras plásticas de 3/4", cortadas no sentido longitudinal, constituindo-se em calhas coletoras do montante escorrido. Sendo que as mesmas foram fixadas sob a forma espiral, acompanhando a circunferência dos troncos das árvores, onde a vedação do contato mangueira-tronco, deu-se por meio da utilização de massa adesiva própria para calafetação. Assim, a água de chuva era conduzida até o funil plástico, fixado no tronco da árvore, e canalizada por mangueira para um recipiente armazenador. Foi

muito interessante à descrição detalhada do material utilizado no experimento e a metodologia, pois isto serve de embasamento para novos experimentos de campo aplicados em outros locais.

Após a obtenção dos dados, Lima e Leopoldo estimaram I , PI e ESC através da análise da regressão linear entre as variáveis em questão, os autores concluíram nesse estudo que em média, os volumes de água de chuva divididas em I , ESC , PI e PE corresponderam respectivamente, a 37,6%, 0,9%, 61,5% e 62,4% da P ; mostrando o relevante papel desenvolvido pelas matas ciliares na manutenção do ciclo hidrológico do ecossistema estudado.

Huber e Iroumé (2001) avaliaram I , P , PI e ESC em diferentes tipos de floresta no Chile, baseando-se em estudos anteriores. Usando análise estatística, teste-t e regressão linear entre as variáveis do processo de interceptação os autores chegaram aos seguintes resultados: A PI variou entre 55 a 86% de P , embora sejam mais altos em plantações de coníferas do que em florestas nativas, as diferenças não foram estatisticamente significativas. O ESC variou de 1 a 13% de P em plantações de coníferas e entre 1 a 8% em florestas nativas. As perdas por I variaram mais em florestas nativas do que em plantações de coníferas, isso é justificado pela morfologia vegetal e a idade da floresta. Outro ponto importante concluído neste trabalho foi que nas florestas nativas que tinham alcançado seu estado de maturidade, portanto não estariam mais em desenvolvimento, as perdas por I diminuiram durante nove anos de estudo. Os autores atribuíram esta redução de I a uma espécie densa de bambu, que estava no seu ciclo fenológico de crescimento durante esse período.

Arcova *et al.* (2003), em pesquisa na floresta secundária de mata Atlântica, no município de Cunha no Estado de São Paulo, quantificaram PE , PI , ESC e I no período de um ano compreendido de 20 de novembro de 1997 a 20 de novembro de 1998, dentro de uma

parcela experimental com área de 400 m², representativa da microbacia em relação a sua cobertura vegetal, foram medidos a precipitação no aberto (equivalente a *P*), a *PI* e o *ESC* das árvores, totalizando 54 coletas. A *P* foi medida utilizando um pluviômetro, instalado numa clareira com trinta metros de diâmetro, localizada a duzentos metros da parcela experimental. Na quantificação da *PI* foram empregados 16 pluviômetros, distribuídos aleatoriamente na parcela e mantidos fixos ao longo do período experimental. Para determinação do *ESC* foram instalados dispositivos de espuma de poliuretano em 38 árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) igual ou superior a 10 cm. A *I* foi obtida a partir da diferença entre a *PE* e a *P*. A *PI* correspondeu à média aritmética das quantidades de chuva nos dezesseis pluviômetros. A quantidade de *ESC* da parcela foi determinada a partir do somatório dos *ESC* das trinta e oito árvores, com a conversão do volume de água de litros (l) para milímetros de altura da água (mm) feita em relação à área da parcela, cada coleta constituiu-se de uma ou mais precipitações.

Devido à variação das precipitações Arcova *et al.* agruparam e analisaram os resultados nos dois períodos distintos do ano caracterizados pelas chuvas, isto é, períodos chuvoso e seco. Os dados da *P*, *PI*, *ESC* e *I* foram submetidos a análise de regressão linear e concluiu-se que, em média 18,6% da precipitação foram interceptados pela floresta, retornando à atmosfera em forma de vapor. Um montante de 81,2% alcançou o piso como *PI* e apenas 0,2% como *ESC*. Os fluxos de *PI* e *ESC* foram maiores no período caracterizado como chuvoso. Nesse estudo os autores adotaram uma metodologia simples e não usaram modelos numéricos para comparar os resultados. Outro ponto muito relevante foi a divisão da variação da chuva na área experimental em período chuvoso e seco. Isso facilita a análise da variação de *I* pelo dossel florestal.

Oliveira Júnior e Dias (2005) estudaram *PE* da mata atlântica do Paraíso, localizada no município de Viçosa, Minas Gerais, o objetivo dos autores foi o de avaliar a *PE* de um trecho mais recente de regeneração da mata natural secundária, no período compreendido de 05/09/2002 a 07/05/2003. Foram demarcadas três parcelas de 20x20 m sistematicamente, espaçadas em 10 m, onde foram registradas 30 coletas da *P*, *PI* e *ESC*, cada coleta constituiu-se de um ou mais eventos de chuva. Para medição da *PI*, foram instalados 25 pluviômetros com área individual de captação de 78,24 cm² e distanciados 5 m entre si. Para medir o *ESC* foram demarcadas três subparcelas de 10x10m, onde se adaptou, em cada árvore com DAP maior que 5 cm, um coletor de segmento de borracha em forma de espiral amarrado com arame, ligado a uma mangueira de 5/8", que conduzia a água escorrida pelo tronco para recipientes individuais de plástico. As medições da *P* na mata do Paraíso foram obtidas a partir de um pluviômetro com área de captação de 163 cm² instalado no alto de um morro, distante 2 km das parcelas experimentais. O cálculo da *PE* é a soma da *PI* e *ESC*, já as perdas por *I* foram obtidas pela diferença entre a *P* e a *PE*.

Oliveira Júnior e Dias não deixam claro na metodologia como obtiveram os totais dos dados amostrais de *PI* e *ESC*. O interessante foi a avaliação das componentes em tópicos separados e uma nomenclatura para cada componente. Os dados foram submetidos à análise de regressão linear. O estudo revelou uma *PE* de 849,6 mm, *PI* de 831,7 mm, *ESC* de 17,9 mm e *I* de 189,9 mm, o que correspondeu em percentual, respectivamente, a 81,7%, 80,0%, 1,7% e 18,3% da *P*, que foi igual a 1.039,5 mm. Os autores consideraram o *ESC* de grande importância, pois apesar de seus percentuais serem pequenos e ainda desprezados por outros autores, estes valores devem ser considerados relevantes, pois a quantidade e a baixa velocidade da água que chega ao solo, através do *ESC*, facilitam a infiltração.

2.3. A climatologia da bacia Amazônica

A Amazônia é uma floresta tropical com dimensões continentais e abriga uma das maiores e mais importantes bacias hidrográficas do planeta. É responsável por parte significativa da ciclagem de gases e umidade na interface floresta – atmosfera, influenciando no clima em escalas regional e global. Por sua importância, tem sido objeto de estudos de diversos autores.

Molion (1987; 1993) estudou as circulações de macro e mesoescala que atuam na Amazônia e os processos dinâmicos que organizam e promovem a precipitação naquela área. Segundo o autor, os mecanismos que provocam chuva na Amazônia podem ser agrupados em três tipos: a) convecção diurna resultante do aquecimento da superfície e condições de larga escala favoráveis; b) linhas de instabilidade originadas na costa N-NE do litoral do Atlântico; c) aglomerados convectivos de meso e larga escala, associados com a penetração de sistemas frontais na região S-SE do Brasil e interagindo com a região Amazônica.

Molion e Dallarosa (1990) mostraram que, em áreas próximas a grandes corpos d'água, ocorrem fenômenos de brisa fluvial, induzindo a formação de nuvens convectivas e precipitação.

Fisch *et al.* (1998) reconhecem as dificuldades da realização de um balanço hídrico preciso para a região Amazônica, devido à descontinuidade espacial e temporal das medidas de precipitação, a inexistência de medidas simultâneas de vazões fluviais, o desconhecimento do armazenamento de água no solo etc.

A bacia Amazônica drena e lança no oceano Atlântico, uma taxa variável que pode ultrapassar os $6.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de água o que se aproxima dos 20% do total de vazão de água doce mundial. A região age como um sumidouro de vapor de água na mesma proporção que a água

líquida resultante abastece seus rios e outros mananciais. Estudos observacionais mostraram que o fluxo de umidade para a Amazônia é predominantemente zonal de leste, intensificado pela elevação da temperatura da superfície do mar (TSM) sobre o Atlântico, o qual se movimenta acompanhando a Zona de Convergência Intertropical ZCIT (Marques, 1978; Marques *et. al.* 1979a, 1979b; Souza, 1991).

A máxima precipitação regional ocorre a Noroeste da Amazônia, sem estação seca, e com totais mensais acima de 200 mm, na maioria dos meses. Alguns autores como Figueroa e Nobre (1990), e Marengo (1992) sugeriram que esse máximo pode estar associado à forma côncava da cordilheira dos Andes que produziria convergência da umidade em baixos níveis, naquela sub-região. Outro máximo de precipitação, embora menos acentuado ocorre no litoral Atlântico da Amazônia. Nesse caso, entretanto, notam-se duas estações bem distintas: a seca, de setembro a novembro, com precipitação em torno de 50 mm mês⁻¹, e a chuvosa, de fevereiro a maio com totais superiores a 250 mm mês⁻¹, causada pela penetração da ZCIT que vem a sobrepujar as linhas de instabilidade, ondas de Leste, sistemas convectivos de mesoescala e locais, além de outros fatores que contribuem para a precipitação durante o ano todo, nessa sub-região.

Para Marengo (1992) e Nobre e Shukla (1996) a umidade específica média anual na Amazônia varia entre 16 e 19 g kg⁻¹ (gramas de água por quilograma de ar) na superfície. Sendo os menores valores médios dessa grandeza, em torno de 14 g kg⁻¹, encontrados a Sudeste da região. Essa umidade do Atlântico penetra no continente ao mesmo tempo em que o fluxo se atenua as proximidades dos Andes, onde se bifurca, indo um ramo para Noroeste da Amazônia e para a América Central e outro ramo segue para Sudeste, transportando umidade para o Sul da Região.

Nos estudos realizados por Cohen *et al.* (1995) e Cohen (1996) são observados nas subáreas localizadas no sudeste e sul da Amazônia, que a estação seca é mais acentuada durante o inverno do hemisfério sul, e a estação chuvosa é causada pela presença freqüente de aglomerados convectivos associados a sistemas frontais, produzidos pela penetração no continente da umidade proveniente da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Uma visão meteorológica da parte superior do ciclo hidrológico na floresta descrita por Silva Dias *et al.* (2002) considera uma parcela de ar úmido ascendente na atmosfera, resultante da ação dos raios solares aquecendo o dossel florestal, fazendo com que evapore a água interceptada por esta floresta ou então resultante da transpiração da vegetação.

A bacia Amazônica é formada pelo rio Amazonas e seus afluentes. O rio Amazonas tem um comprimento de 6.868 km e mais de mil afluentes, nasce no Peru na cordilheira dos Andes, e ao longo de seu percurso tem os nomes de *Tunguragua*, *Marañón*, *Ucayali*, ao entrar no Brasil passa a denominar Solimões, só recebendo o nome de Amazonas ao encontrar-se com o rio Negro. É a maior bacia fluvial do mundo com área 7.000.000 km²; no Brasil 4.787.717 km². Drena terras da Bolívia, Peru, Equador e Colômbia, Sendo que é o maior volume de água do mundo e maior potencial hidráulico do Brasil (Souza *et al.*, 2003).

2.4. Modelos numéricos para o cálculo das perdas por interceptação

A modelagem numérica e as medidas reais feitas no campo são duas técnicas usadas para se obter a interceptação da precipitação pela vegetação, a utilização de valores observados experimentalmente é bem mais confiável. Porém, há sérias dificuldades técnicas e financeiras para se instalar um experimento desta natureza. Principalmente em áreas florestais.

Por esta razão, a utilização de modelos é frequentemente necessária para se quantificar a interceptação.

Entre os diversos trabalhos sobre interceptação da precipitação pela vegetação um dos pioneiros que se destacou foi Horton (1919). Em seu estudo quase secular, o autor apresentou as bases para a modelagem matemática da interceptação da precipitação pela vegetação. O autor considerou que as perdas por I seriam o resultado da soma da capacidade de armazenamento de água pelo dossel vegetal (S_i) com o produto das taxas de evaporação durante a chuva (E_r), o tempo de duração dessa chuva (T) em horas, e a razão de evaporação da superfície plana projetada pela copa da árvore no solo (K_i), assim:

$$I = S_i + K_i E_r T \quad (1)$$

E os percentuais de perda por interceptação serão:

$$\frac{I}{PT} = \frac{S_i + K_i E_r T}{PT} \quad (2)$$

Sendo P a taxa de precipitação por unidade de tempo.

A equação (2) indica que os percentuais das perdas diminuem com o aumento da duração da chuva. Seguindo esse raciocínio, é esperado que os percentuais de perdas por I sejam menores para as chuvas de grande intensidade do que para chuvas leves.

Nesse seu estudo, Horton descreveu que as perdas por I variam entre 15 e 80% da P medida em área aberta ou acima da vegetação. Essa variação depende de diversos fatores das diferentes espécies vegetais, tais como; idade da floresta, densidade de exemplares na área de estudo. Como exemplo citou as florestas de coníferas, as “black spruces” (*Picea mariana*) e de pinheiros com percentuais de I de 20%, 4% e 60% da P , respectivamente. Em seus

cálculos, Horton negligenciou o *ESC*, por considerá-lo muito pequeno, e afirma que varia entre menos de 1% e 5% da *P*.

Rutter *et al.* (1971 e 1975) apresentaram um modelo fisicamente fundamentado baseado em dados horários, sendo que este surgiu como sendo o modelo mais apropriado para descrever o processo de interceptação. É executado através da entrada de variáveis controladoras do processo de evaporação e parâmetros morfológicos da vegetação.

Gash (1979) apresentou uma simplificação do modelo de Rutter, pois o considerou como sendo o mais confiável para se estimar os valores interceptados. Este modelo tem sido o mais utilizado para estimativa da *I* e vem sendo aplicado em diversos tipos de florestas. Nesse estudo foram considerados termos negligenciados por Rutter *et al.* (1971 e 1975), tais como, a evaporação do dossel após o término da chuva, os efeitos das chuvas de pequena intensidade que não são capazes de saturar o dossel mais o deixam úmido, e a evaporação dos troncos das árvores. Gash testou seu modelo primeiramente para a Thetford Forest no Reino Unido, obtendo resultados satisfatórios entre os valores medidos e os estimados, o que sugeriu a utilidade do modelo na estimativa da *I* em diferentes localidades usando-se apenas dados pluviométricos.

Entre janeiro de 1992 e julho de 1994 Valente *et al.* (1997) estudaram a *I* em duas parcelas, sendo uma de eucalipto (*Eucalyptus globulus Labill*) e a outra com pinheiro (*Pinus Pinaster*) na região Central de Portugal. Eles também aplicaram os modelos de Rutter e analítico de Gash para as estimativas da *I*. O modelo original de Rutter superestimou em (44,7 mm) 29,1% para a parcela de pinheiros e (39,9 mm) 39,6% para a parcela de eucalipto. As superestimativas obtidas pelo modelo original de Gash foram de (62,4 mm) 40,6% e (44,2 mm) 43,8% para as parcelas de pinheiros e eucaliptos, respectivamente.

Desta forma Valente *et al.* reformularam o modelo original de Rutter para uma melhor descrição da I para uma floresta esparsa e também aplicaram uma versão já modificada do modelo analítico proposto por Gash *et al.* (1995) para florestas esparsas. A aplicação desses dois modelos reformulados resultou, em uma melhora significativa dos valores de I obtidos. O modelo de Rutter modificado subestimou I em -2,5% e -3,4% para as parcelas de pinheiros e eucaliptos, respectivamente. O modelo analítico de Gash modificado superestimou I em 1,8% para a parcela de pinheiros, enquanto que subestimou em -2,5% para a parcela de eucalipto.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização da área experimental

O estudo foi desenvolvido em floresta tropical úmida de terra firme que está localizada na Floresta Nacional (FLONA) de Caxiuanã, com 330 mil ha, localizada no município de Melgaço, Pará, onde funciona a Estação Científica Ferreira Penna (ECFPn) que representa cerca de 10% da área da floresta, (01° 42' 30"S; 51° 31' 45"W; 62 m de altitude) tendo como limite Norte o divisor de águas entre as bacias do rio Caxiuanã e do rio Amazonas; ao sul o rio Caxiuanã; a leste a baía de Caxiuanã e o igarapé Laranjal e a Oeste o igarapé Grande. (Figura 2). A ECFPn é administrada pelo Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG) (Lisboa, 1997). Os dados foram obtidos na área experimental do ESECAFLOR, no período de janeiro a dezembro de 2004.

As coletas de dados para o cálculo da I , utilizados nesse estudo foram realizados durante o ano de 2004.

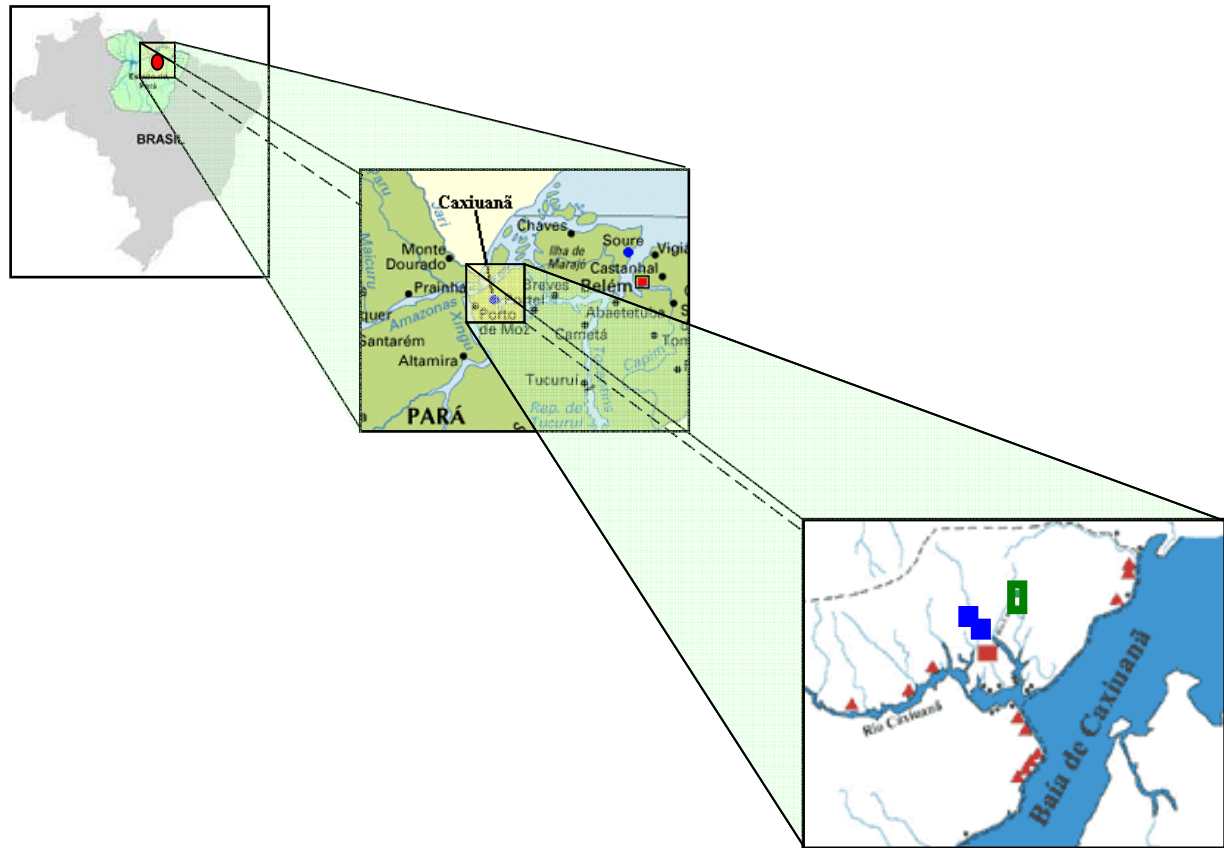


Figura 2. Localização da Floresta Nacional de Caxiuanã, Pará

Por definição, uma Floresta Nacional é uma área com cobertura florestal de espécies predominantemente nativas e tem como objetivo básico o uso múltiplo sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com ênfase em métodos para exploração sustentável de florestas nativas. A FLONA de Caxiuanã foi criada pelo decreto nº 239, de 28 de novembro de 1961, pelo então presidente do conselho de ministros Sr. Tancredo Neves, sendo a segunda FLONA criada no Brasil e a primeira a ser realmente implementada no País (IBAMA, 2004).

3.2. Clima

O clima da FLONA de Caxiuanã, pela classificação de Köppen é do tipo tropical quente e úmido e subtipo climático “Am” com uma curta estação seca . A temperatura média do ar oscila em torno de 26,7° C mínimos e máximos de 22° C e 32° C, respectivamente (Figura 3) (Ferreira da Costa *et al.*, 2003). O número de horas de brilho de luz solar alcança mais de 2100 horas ano⁻¹, umidade relativa do ar média anual situa-se em torno de 80%. A direção do vento predominante é de nordeste (Moraes *et al.*, 1997).

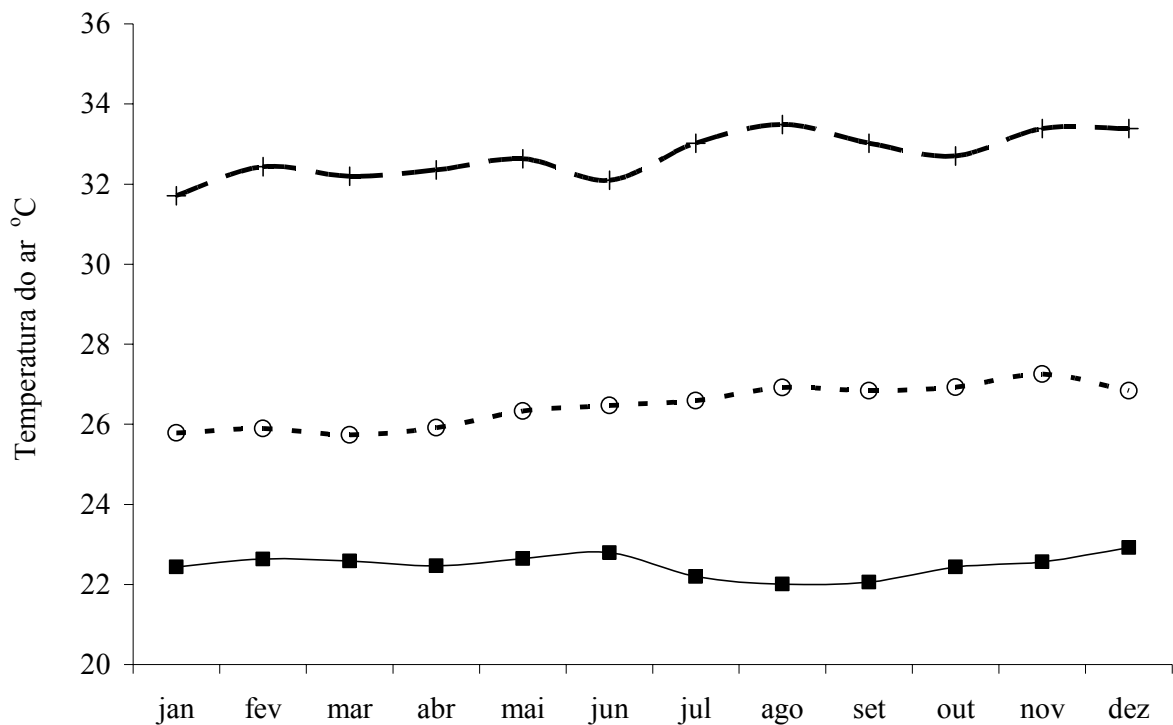


Figura 3. Temperatura do ar máxima, média e mínima mensal em Caxiuanã, Pará, no período de 1996 a 2003. Fonte: Ferreira da Costa *et al.* (2003)

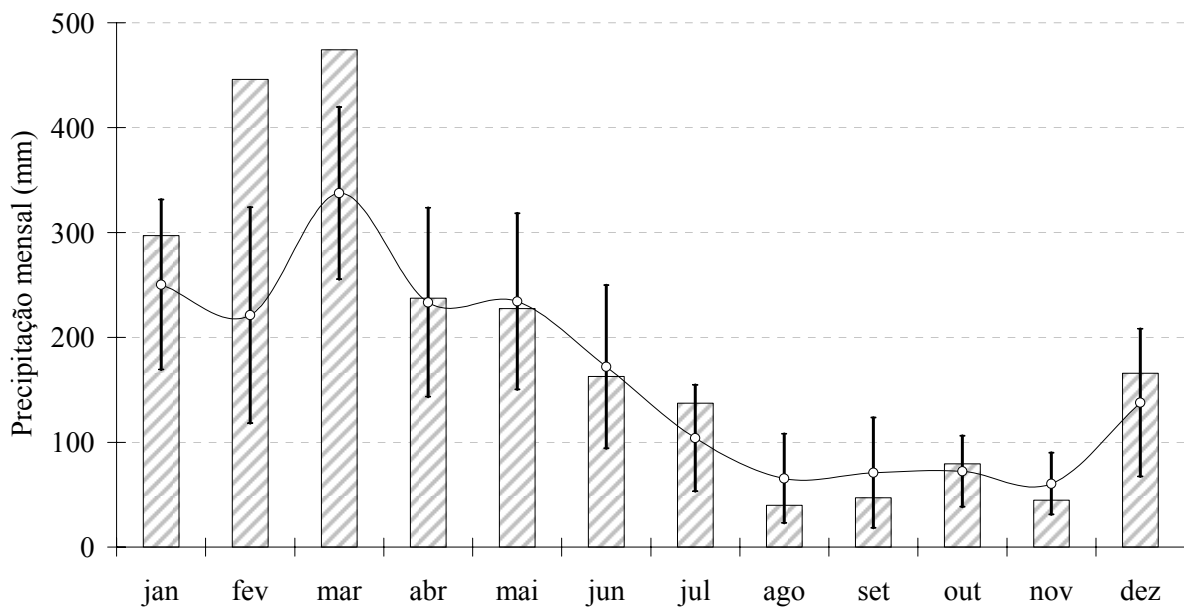


Figura 4. Precipitação mensal total acima do dossel para o ano de 2004. Os círculos representam as médias mensais, e as linhas verticais os desvios padrões, respectivamente, no período de 1996 a 2003, para a FLONA de Caxiuanã, Pará

A região de Caxiuanã tem uma distribuição regular das chuvas durante todo o ano. Porém, há uma sazonalidade definida. Climatologicamente, o período chuvoso está compreendido de dezembro a junho, enquanto o seco vai de agosto a novembro. Para o ano de 2004, o total anual precipitado foi de 2359,4 mm, cerca de 400 mm (20,4%) acima da média do período de 1996 a 2003 que foi de 1959,7 mm. Durante o período chuvoso ocorreram 1845 mm, representando 78,2% das chuvas, enquanto no período seco, o total precipitado foi de 514,4 mm, ou 21,8% do total anual. O mês mais chuvoso em 2004 foi março com 474 mm, e o seco foi agosto com 40 mm (Figura 4). As precipitações no Leste da Amazônia sofrem as influências dos Oceanos Atlântico e Pacífico no primeiro trimestre do ano, estando estas precipitações acima da média relacionadas com os eventos de La Niña (Souza, 2003).

3.3. Vegetação e solo

A FLONA de Caxiuanã agrega importantes ecossistemas em espécies vegetais, o que a caracteriza como uma zona que abrange vários ambientes, dentre eles a floresta densa de terra-firme e igapó (Almeida *et al.*, 1993). As florestas de baixio (igapó em rios de água preta transparente e várzea em rios de água barrenta e turva) são alagadas durante quase metade do ano. As espécies vegetais presentes nessas áreas são especialmente adaptadas à vida submersas. A variedade de espécies é menor que nas florestas de terra firme. As matas alagadas são importantes pra toda a floresta e para os rios, pois, alguns peixes dependem dos frutos e vegetais que consomem e diversas espécies das florestas dependem dos nutrientes que a cheia conduz.

Para Viana *et al.* (2003) cerca de 85% da área onde foi implantada a ECFPn são florestas de terra-firme. Apresentam relevo relativamente plano com Latossolo Amarelo de origem terciária, têm arquitetura florestal constituída de árvores emergentes variando de 40 a 50 m, dossel de 30 a 35 m, sub-dossel de 20 a 25 m e piso com 5 m. A diversidade de espécies está entre 150 a 160 ha⁻¹, e a densidade de indivíduos variando de 450 a 550 árvores ha⁻¹. As espécies predominantes na floresta de terra-firme são a *Eschweilera coriacea* (Lecythidaceae), *Voucapoua americana* (Caesalpinaceae) e *Protium pallidum* (Bursaceae).

Até o ano de 2003, foram registradas para a ECFPn 1.054 espécies pertencentes a 393 gêneros e 102 famílias. As espécies arbóreas (663) são predominantes na ECFPn (62,9%), (Silva, *et al.*, 2003).

O índice de área foliar (IAF) foi medido no experimento ESECAFLOR durante as campanhas intensivas de coletas de dados realizadas duas vezes por ano, onde foram feitas 100 medidas nas subparcelas (10x10 m) usando um *LI-COR LAI-2000 plant canopy analyser*

(LI-COR, Inc, Lincoln, NE, USA). Em novembro de 2001 e em maio de 2002 o IAF foi igual a $5,4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, apresentou uma redução em novembro de 2002 para 4,1, voltando a crescer no registro realizado em maio de 2003 quando atingiu 5,0 e continuou crescendo na coleta de novembro de 2003, quando foi registrado o maior valor de $5,8 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$. O valor médio do IAF para Caxiuanã foi de $5,14 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (Fisher, 2005). Uma boa noção do grau de abertura/cobertura da vegetação superior na FLONA de Caxiuanã é visualizada na foto hemisférica utilizando uma câmera *Nikon Coolpix 5400, Fish Eye FC-E9, (Nikon Corp. Japan)* registrada na subparcela 35 da área experimental, em janeiro de 2006 (Figura 5).



Figura 5. Fotografia hemisférica da vegetação superior na subparcela 35 da área experimental. Fonte ESECAFLOR

Os solos de Caxiuanã vão de bem drenados a moderadamente drenados, de arenoso a argiloso, ácidos e pobres em nutrientes. O pH varia de 3,5 (muito ácido) a 5,5 (moderadamente ácido) (Ruivo *et al.*, 2002).

A FLONA de Caxiuanã localiza-se em um terreno sob formação geológica sedimentar (Formação Alter do Chão), que foi posteriormente laterizado. Arenitos ferruginizados podem

ser encontrados ao nível do espelho d'água da baía de Caxiuanã, correspondendo à parte basal do perfil de alteração. Rochas tipo caulim afloram às proximidades da ECFPn. Sedimentos recentes são encontrados nas margens dos pequenos igarapés e como anéis de praias nas margens da baía (Kern e Costa, 1997).

3.4. O estudo da interceptação da precipitação pela vegetação dentro do Projeto ESECAFLOR

As dificuldades inerentes à realização de um estudo observacional em áreas remotas e de difícil acesso, algumas vezes impedem sua realização, principalmente em áreas de floresta tropical. Visando eliminar ou minimizar essas barreiras, foi planejado o experimento para medidas de I na FLONA de Caxiuanã, Pará, local que apresenta excelente estrutura logística para a realização de atividades de campo, devido a instalação da ECFPn do MPEG.

A área da floresta escolhida para o estudo da I foi uma das parcelas do experimento ESECAFLOR, devido a sua estrutura já instalada para pesquisas. O Experimento ESECAFLOR consiste na simulação de um período de seca prolongada na floresta, para avaliar o impacto da deficiência hídrica sobre o microclima local, investigando a influência da exclusão de água no solo sobre o ciclo da floresta, e as alterações provocadas pelo evento (Meir *et al.*, 2003). Algo semelhante à influência de um fenômeno El Niño.

Em sua estrutura física o ESECAFLOR é composto por duas parcelas (A e B) de um hectare cada uma. Estas áreas são delimitadas por trincheiras cavadas com profundidades variando de 0,5 a 1,5 m. Sendo que a parcela A é usada como referência para os experimentos realizados na parcela B , onde está sendo feita a exclusão de, aproximadamente, 90% da água da chuva, através da utilização de cerca de 6000 painéis plásticos instalados a uma altura de

1,5 a 4 metros acima do solo. O estudo da interceptação da precipitação pela vegetação utilizou a estrutura de pesquisa montada na parcela A do ESECAFLOR. Cada uma das áreas possui uma torre metálica com 30 metros de altura. Estas torres permitem o acesso fácil às árvores para análises de fotossíntese entre outros experimentos, além do monitoramento meteorológico realizado por estações automáticas (Ferreira da Costa *et al.*, 2003).

3.5. Experimento observacional

Para tentar comprovar as observações de que a quantidade de chuva que chegava ao solo sob áreas florestadas ou cultivos agrícolas desenvolvidos era menor que o total medido em áreas abertas ou acima da vegetação, Horton (1919) já aplicava a utilização de pluviômetros e interceptômetros em áreas com vegetação adulta próximas ao seu laboratório em Albany, NY, EUA. Nesse estudo pioneiro, o autor lançou as bases das técnicas de medidas experimentais da *I*. Com a distribuição de diversos pluviômetros em diferentes situações e posições, a confecção de interceptômetros artesanais para determinar o escoamento pelos troncos. Suas técnicas, ainda hoje, servem como base para a instalação dos estudos de interceptação da precipitação pela vegetação, com algumas modificações naturalmente impostas pelas novas tecnologias desenvolvidas durante os anos subseqüentes.

No presente estudo, se aplicou a técnica da utilização de uma parcela aproximadamente quadrada. Esse formato da parcela de estudo não foi escolhido de maneira aleatória. Segundo Lloyd e Marques Filho (1988) esse padrão permite o fácil acesso ao interior da área sem os conseqüentes danos à vegetação rasteira, além de incluir um grande número de árvores dominantes. Dentro de uma subparcela foi determinado o diâmetro dos troncos (perímetro dos troncos acima de 10 cm), medido a 1,3 m acima do solo (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação das árvores da parcela *A* por classe. Diâmetro à altura do peito (DAP) (m), quantidade de exemplares e percentuais

Classes	DAP (m)	quantidade de exemplares	(%)
1	0,100 a 0,200	308	58,5
2	0,201 a 0,300	120	22,8
3	0,301 a 0,400	59	11,2
4	0,401 a 0,500	14	2,7
5	0,501 a 0,600	14	2,7
6	0,601 a 0,700	3	0,6
7	0,701 a 0,800	3	0,6
8	> 0,800	5	1,0
TOTAL		526	100

A localização da área do experimento para determinação da *I* está dentro da parcela *A* usada como controle do projeto ESECAFLOR. O instrumental foi montado no mês de janeiro de 2004, com o objetivo de quantificar e avaliar *I* através da mensuração da *P*, *PI* e o *ESC*. Uma área de um hectare representativa da floresta tropical de terra firme, foi demarcada e dividida em subparcelas de 10 m de comprimento por 10 m de largura, com cem posições possíveis de coleta (Figura 6). A área selecionada representa bem a morfologia da floresta, com grandes diversidades e densidade de indivíduos no hectare. Nessa parcela, foram catalogados 526 exemplares vegetais com diâmetro à altura do peito (DAP) maiores que 0,1 m. As árvores foram divididas em 8 diferentes classes de acordo com o DAP. A primeira classe reuniu exemplares com DAP entre 0,1 e 0,2 m, sendo esta classe a mais representativa do grupo, com 308 indivíduos, significando 58,5% do total de árvores identificadas na parcela. Esta e as demais classes foram apresentadas na Tabela 1.

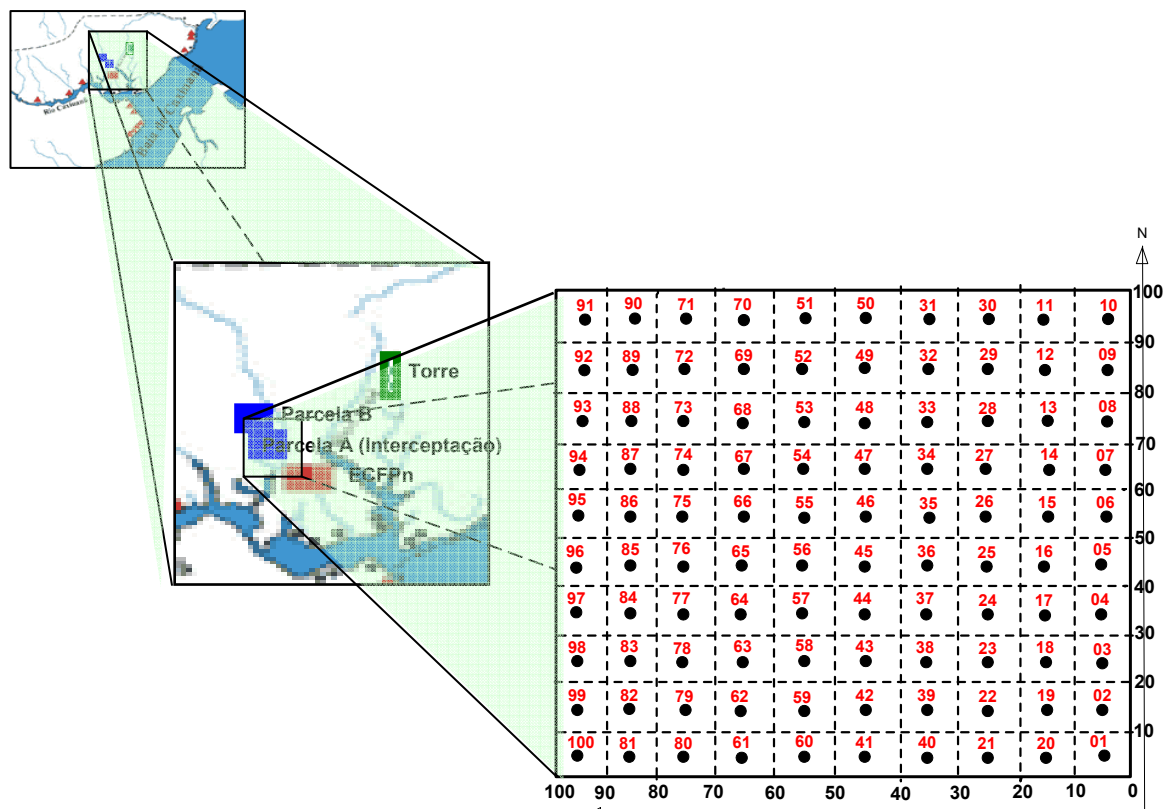


Figura 6. Esquema da área experimental e as posições possíveis de coleta

A classificação das árvores por DAP se fez necessária para a determinação dos exemplares nos quais seriam instalados os interceptômetros para a medida do escoamento pelos troncos.

As três primeiras classes; $0,1 \text{ m} < \text{DAP} < 0,2 \text{ m}$; $0,2 \text{ m} < \text{DAP} < 0,3 \text{ m}$; $0,3 \text{ m} < \text{DAP} < 0,4 \text{ m}$, reúnem 487 exemplares de vegetais, o que representa 92,5% da população total. Desta forma, para uma melhor representatividade da vegetação, foram selecionadas sete árvores para a instalação dos interceptômetros, sendo quatro delas na classe 1 ($0,1 \text{ m} < \text{DAP} < 0,2 \text{ m}$), duas na classe dois ($0,2 \text{ m} < \text{DAP} < 0,3 \text{ m}$), e uma na classe três ($0,3 \text{ m} < \text{DAP} < 0,4 \text{ m}$).

3.6. Instrumentação utilizada para a determinação da interceptação

3.6.1. Precipitação total incidente acima do dossel (P)

Em qualquer estudo para determinar I , a informação básica necessária para a análise será a precipitação incidente em área aberta ou acima do dossel vegetal, que foi a opção escolhida no presente estudo. P foi coletada através de um pluviógrafo do tipo *CSI Model CS700-L, Rain Gage*, com 314,2 cm² de área de captação e capacidade basculante de 100 mm h⁻¹ (Figura 9), instalado no topo da torre micrometeorológica com 52 m de altura, que se encontra a 2 km ao Norte da área experimental (Figuras 7 e 8). Como o dossel médio apresenta árvores entre 30 e 35 m, com alguns exemplares emergentes de até 50 m, as medidas de precipitação não sofreram a influência dos obstáculos vegetais nos arredores.

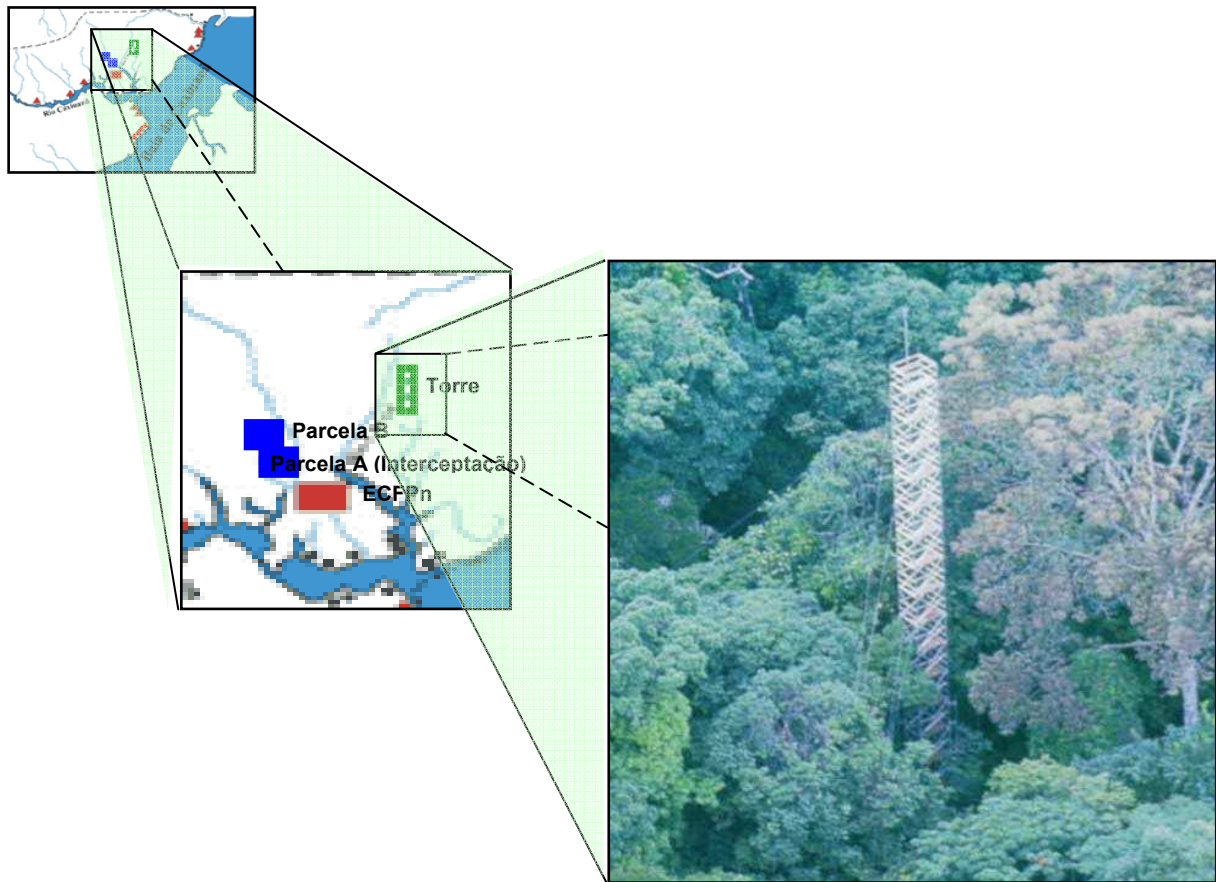


Figura 7. Localização e vista aérea da torre micrometeorológica com 52m de altura, distante cerca de 2 km da parcela usada no experimento de interceptação da precipitação pela vegetação



Figura 8. Torre micrometeorológica com 52m de altura vista do solo



Figura 9. Pluviógrafo instalado no topo da torre micrometeorológica

3.6.2. Precipitação interna (*PI*)

A fração de *P* que atingirá o solo diretamente sem sofrer a influência de obstáculos é denominada de precipitação livre e a outra parte que sofrerá a influência de folhas e galhos, mas também chegará ao solo por gotejamento formarão a *PI*. Em todos os estudos de *I*, essa variável requer enorme atenção na sua obtenção. De um modo geral, os autores destacam a necessidade de um número elevado de pluviômetros, distribuídos de acordo com as características da área em estudo, principalmente o grau de abertura/cobertura da vegetação superior (ver Figura 5). Holwerda *et al.* (2006) comparando as estratégias de amostragens para estudos de precipitação interna em uma floresta tropical em Luquillo Mountains, no nordeste de Porto Rico concluíram que seriam necessários cem pluviômetros fixos, para se obter um resultado similar ao obtido com trinta pluviômetros móveis, com nível de confiança de 95%.

No presente estudo para coleta de dados de *PI*, foram utilizados 25 coletores alternativos, construídos com garrafas “pets” para armazenar 2 litros de água precipitada. Para coleta dessa água foram utilizados funis de alumínio com área de captação de 153,94 cm², com um suporte de madeira, no qual foi nivelado ficando a 1 m acima do solo (Figura 10).

Esses pluviômetros foram distribuídos aleatoriamente dentro da área experimental, e dispostos nos centros de cada célula, com uma distância média entre eles de 10 m. A coleta dos dados foi feita semanalmente com o auxílio de uma proveta graduada em mililitros. Para o cálculo da altura de *PI* foi utilizada a seguinte relação:

$$PI = \frac{VI}{Af} \quad (3)$$

Sendo que *PI* é a quantidade de chuva (mm), *VI* é o volume de chuva lido na proveta (l) e *Af* a

área de captação do funil (m^2). A *PI* foi obtida pela média dos 25 pluviômetros em cada coleta.



Figura 10. Pluviômetro utilizado para quantificar a precipitação interna

Foi utilizado o processo de amostragem aleatória da população, onde os coletores são trocados aleatoriamente após cada coleta, para evitar o viciamento das medidas, possibilitando melhores resultados observacionais, eliminando as posições fixas na parcela utilizadas por Helvey e Patrick (1965) apud Ubarana (1994). Toda semana era realizado um sorteio para definir as suas novas posições. Dessa forma espera-se que com a rotação dos pluviômetros haja uma redução do erro nas medidas de *PI*. Durante as 40 coletas semanais com informações utilizadas neste trabalho, todas as cem subparcelas possíveis para a localização dos 25 pluviômetros foram utilizadas. As subparcelas com menor número de repetições foram, a 44, a 29 e as subparcelas 7 e 9, com 1, 2 e 3 repetições, respectivamente. As subparcelas mais utilizadas foram, a 35 com 21 repetições, as subparcelas 15 e 61 com 18 repetições, e as subparcelas 30 e 69 com 17 repetições (ver Figura 6).

3.6.3. Escoamento pelos troncos (*ESC*)

Apesar de ser até negligenciado por alguns autores em seus estudos (Horton, 1919 e Lima e Nicolielo 1983), por significarem pequenos percentuais, algo em torno de 1 a 5% dos totais precipitados, o *ESC* tem sua importância no ciclo hidrológico como uma forma eficiente de reposição de água no solo, pois chega à superfície em baixa velocidade devido ao atrito com a casca dos vegetais, se direcionando próximo às raízes e reduzindo o escoamento superficial. Essa água infiltrará mais facilmente no solo, o que favorecerá o reabastecimento do lençol freático que formam os reservatórios subterrâneos.

Para obtermos o *ESC*, a coleta dos dados foi por árvore individual na célula demarcada de 10 x 10 m, onde foram escolhidas sete árvores com DAP representativos da parcela (tabela 2), para colocação de anéis coletores (interceptômetros).

Tabela 2. Diâmetro a altura do peito – DAP das sete árvores onde foram instalados os interceptômetros

<i>ÁRVORE</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
DAP (m)	0,122	0,327	0,125	0,111	0,122	0,229	0,272

Em cada árvore foi montado um coletor na altura do peito (1,3 m), em anel feito com alumínio, acoplado ao tronco, onde o anel coletor foi vedado com uma faixa de borracha flexível, uma mangueira plástica $\frac{3}{4}$ de polegadas ligava o anel ao recipiente. A capacidade do recipiente é de 10 litros. O objetivo era desviar o volume de água escoada pelos troncos, para um recipiente fechado (Figuras 11 e 12).



Figura 11. Anel coletor para captação da água escoada pelos troncos das árvores e o reservatório no solo conectado por uma mangueira plástica



Figura 12. Detalhes do anel coletor utilizado para captar a quantidade de água escoada pelos troncos das árvores e drenada pelas mangueiras plásticas para um reservatório na superfície

O escoamento pelo tronco será calculado pela equação (4)

$$ESC = \left(\frac{Ve}{Pc} \right) \times \left(\frac{Pca}{At} \right) \quad (4)$$

Em que, *ESC* o escoamento pelo tronco expresso (mm); *Ve* o volume total escoado pelos troncos (litros); *Pc* o perímetro das árvores com os interceptômetros (m); *Pca* o perímetro total dos caules (m); *At* a área total (m²).

A componente ESC foi totalizada integrando-se os valores das sete árvores.

3.7. Perdas por interceptação da precipitação pela vegetação (*I*)

Para alcançar os objetivos desse estudo, foram utilizadas metodologias consagradas por estudos desenvolvidos em diversos países do mundo inteiro, em diferentes tipos de vegetação e clima (Horton, 1919; Rutter *et al.*, 1971, 1975, 1977; Gash, 1979; Gash *et al.*, 1995; Ubarana, 1994, 1996 e Ferreira *et al.*, 2005).

Após a obtenção dos dados, deu-se a estimativa das perdas por interceptação da precipitação pela vegetação empregando-se as equações a seguir:

$$I = P - PE \quad (5)$$

Em que, *I* as perdas por interceptação; *P* a precipitação acima do dossel; *PE* a precipitação efetiva (todas em mm).

A precipitação que efetivamente chega ao solo é calculada de acordo com a equação abaixo:

$$PE = PI + ESC \quad (6)$$

Em que, PE a precipitação efetiva; PI a precipitação interna; ESC o escoamento pelo tronco (todos em mm).

Aplicando a equação (6) em (5), teremos:

$$I = P - (PI + ESC) \quad (7)$$

Em que, I as perdas por interceptação; P a precipitação total acima do dossel; PI a precipitação interna; ESC o escoamento pelos troncos (todos em mm).

A descrição do processo de interceptação é apresentada como um fluxograma e mostrado na Figura 13. Sabendo-se que não existe a possibilidade de medir I diretamente, então para determinar esta componente é necessário medir a P , esta componente é medida acima do nível superior do dossel ou fora da zona de influência das copas das árvores. PI e o ESC são mensurados abaixo do dossel. A precipitação livre (p) é a quantidade que alcança diretamente o solo sem atingir as folhas e troncos da floresta (ver Figura 1) e é contabilizada na PE . A Figura 13 mostra o fluxograma do processo de interceptação.

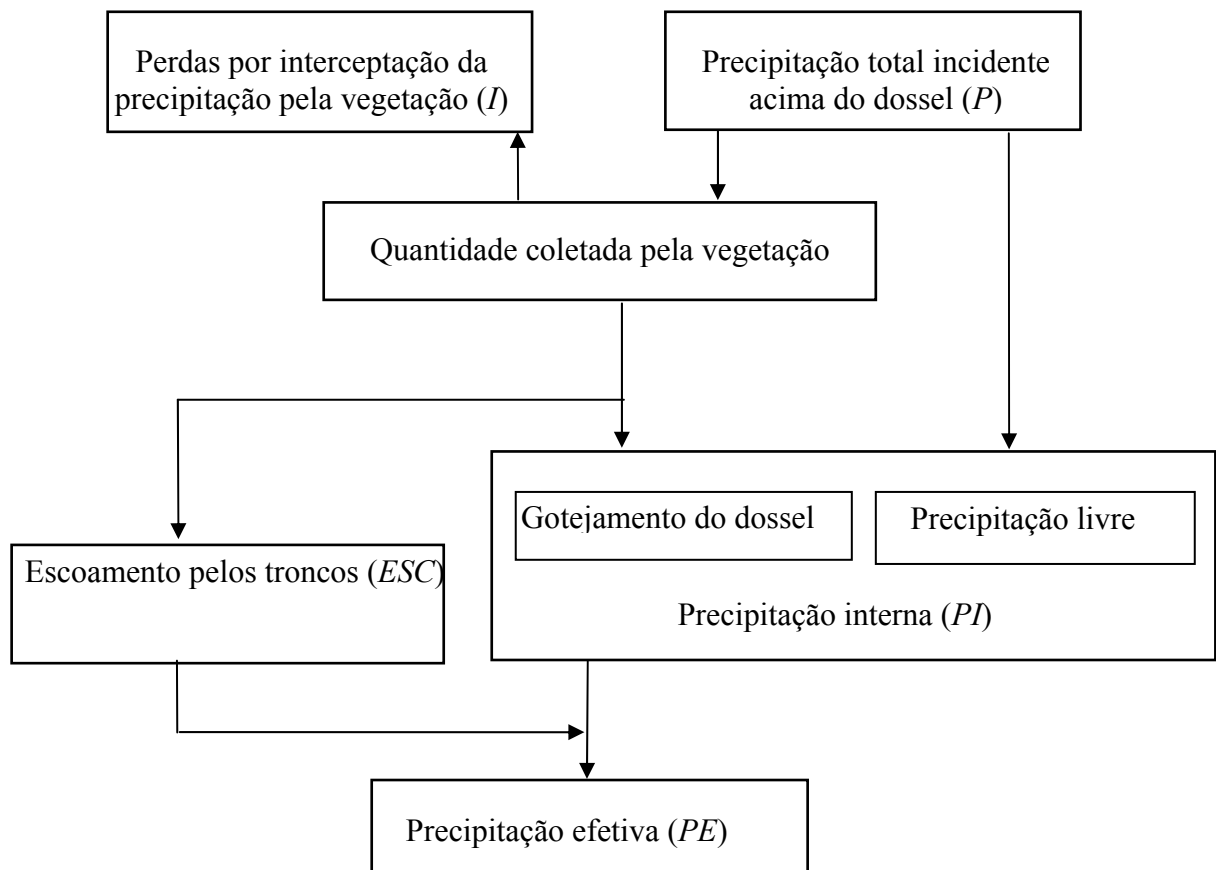


Figura 13. Fluxograma conceitual do processo de interceptação da precipitação pela vegetação e a precipitação que efetivamente chega ao solo. Adaptado de Valente *et al.* (1997)

3.8. Descrição do modelo de Rutter

Como nem sempre é possível realizar experimentos observacionais para se obter as informações necessárias à determinação da I , devido aos obstáculos físicos, logísticos, econômicos e etc., tornam-se necessárias a aplicação de ferramentas alternativas para se alcançar os objetivos. Uma das maneiras mais utilizadas para isso é a modelagem matemática. É quando, através do auxílio de artifícios e considerações técnicas, e de posse de apenas algumas informações reais, se alcançam resultados satisfatórios, somente por estimativas.

Foi utilizado o modelo de Rutter (Rutter *et al.* 1971 e 1975) que é um modelo fisicamente fundamentado e baseado, essencialmente, no cálculo dinâmico do balanço hídrico

do dossel e troncos (Valente, 1990 e Valente *et al.*, 1997). Esse modelo tem sido o mais utilizado para estimativa das perdas por interceptação da precipitação pela vegetação, aplicado em diversos tipos de florestas.

$$(1 - p - p_t) \int P dt = \int D dt + \int E dt + \Delta C \quad (8)$$

$$p_t \int P dt = ESC + \int E_t + \Delta C_t \quad (9)$$

Sendo, p o coeficiente de precipitação livre direta: A proporção de chuva que atinge o solo sem tocar no dossel; p_t a proporção de chuva que escorre pelos galhos e tronco; P a precipitação total incidente acima do dossel; E a taxa de evaporação da água interceptada pelo dossel; D a drenagem pelo dossel; ΔC a variação da quantidade de água armazenada no dossel; ESC o escoamento pelos troncos; E_t a taxa de evaporação da água armazenada nos troncos; ΔC_t a variação da quantidade de água armazenada nos troncos.

O fluxograma do modelo de Rutter apresentado na Figura 14 descreve o processo de interceptação.

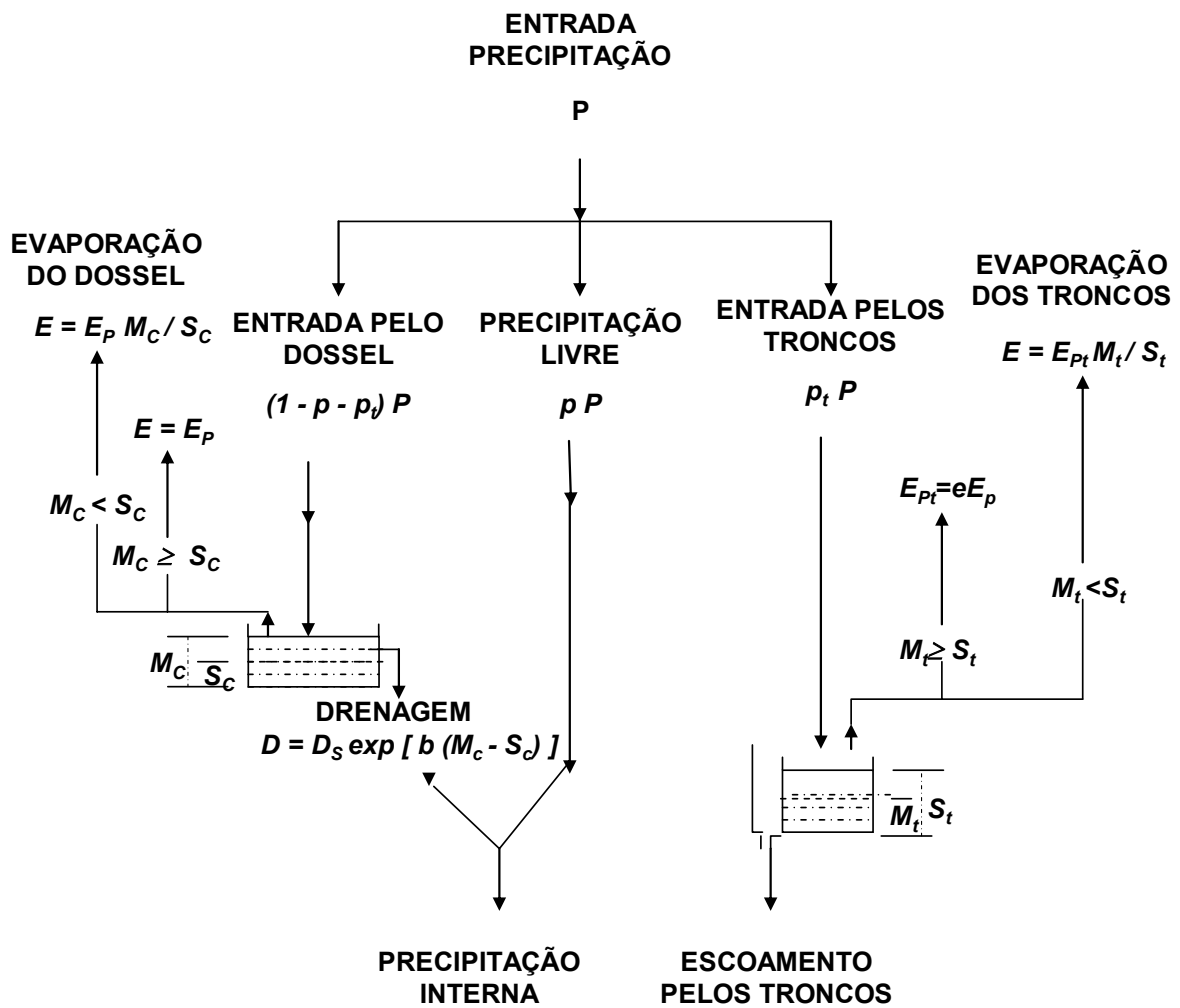


Figura 14. Fluxograma do modelo de Rutter. Adaptado de (Rutter *et al.*, 1971)

3.8.1. Cálculo da evaporação

Considera-se a evaporação como potencial, E_p quando todas as superfícies do dossel estão molhadas, ou seja, quando $C > S_c$.

Quando $C < S_c$, a evaporação é inferior a evaporação potencial:

$$E = E_p \frac{C}{S_c} \quad (10)$$

Esta consideração não é totalmente exata, já que no início de um evento chuvoso a evaporação ocorre principalmente no topo da vegetação, enquanto que no final do processo de secagem, ela ocorre apenas a partir do interior do dossel.

Para água evaporada pelos troncos, tem-se:

$$E_{pt} = E_p \quad \text{se } C_t \geq S_t \quad (11)$$

$$E_{pt} = E_p \frac{C}{S_t} \quad \text{se } C_t < S_t \quad (12)$$

3.8.1.1. Equação de Penman-Monteith

A evapotranspiração potencial E_p pode ser estimada pela fórmula de Penman-Monteith. Para regiões que dispõem de dados de temperatura do ar, de umidade relativa do ar, de velocidade do vento e de radiação, a Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (<http://www.fao.org/>) adotou como padrão o modelo de Penman-Monteith para a estimativa da evapotranspiração de referência, bem como várias características micrometeorológicas associadas ao modelo e ao local a ser considerado.

O modelo requer dados horários de entrada: R_n o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); T a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); UR a umidade relativa do ar (%); V_v a velocidade média do vento (m s^{-1}); P a precipitação (mm).

O cálculo da evapotranspiração foi efetuado pela equação de Penman-Monteith:

$$Ep = \frac{\Delta R_n + \rho c_p (e_s - e_a) / r_a}{\lambda(\Delta + \gamma)} \quad (13)$$

Em que: Ep é a evapotranspiração potencial (mm h^{-1}); Δ a declividade da curva de pressão de vapor contra a temperatura ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n o saldo de radiação ($\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$); ρ a densidade do ar (kg m^{-3}); C_p o calor específico do ar a pressão constante ($\text{MJ kg}^{-1} ^\circ\text{C}^{-1}$); $(e_s - e_a)$ é o déficit de pressão de vapor do ar para altura de referência medida (kPa); γ a constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); r_a resistência aerodinâmica (s m^{-1}).

A resistência aerodinâmica (r_a) à transferência de calor sensível e latente foi obtida pela expressão a seguir (Monteith, 1965; Szeicz e Long, 1969):

$$r_a = \frac{\left(\ln \left[\frac{(Z-d)}{Z_0} \right] \right)^2}{K^2 U_z} \quad (14)$$

Na qual r_a a resistência aerodinâmica (s m^{-1}); \ln o logaritmo natural; Z a altura de medição da velocidade do vento (56 m); d o deslocamento do plano zero do perfil do vento ($d = 30$ m); Z_0 a rugosidade superfície ($Z_0 = 2,35$ m); k a constante de Von Karman ($k = 0,41$) e U_z a velocidade do vento medida à altura z (56 m) (m s^{-1}), estes foram os valores utilizados por Souza Filho *et al.* (2005) para mesma região de Caxiuanã, Pará.

Para executar o modelo de Rutter é preciso medir ou estimar as seguintes variáveis: C_c a quantidade de água armazenada no dossel; C_t a quantidade de água armazenada nos troncos; S_c a capacidade de armazenamento do dossel; S_t a capacidade armazenamento na superfície dos troncos; p o coeficiente de precipitação livre direta, a proporção de chuva que atinge o solo sem tocar no dossel; p_t a proporção de chuva que escorre pelos galhos e troncos; b a taxa de aumento da drenagem com a variação de C ; D_s a drenagem quando ($C = S$).

Como foi mostrado, o modelo requer que se definam certos parâmetros de estado referentes à morfologia da vegetação. Na tabela 3 são apresentados os valores para floresta de Caxiuanã, Pará.

Tabela 3. Valores dos parâmetros da vegetação utilizados para a modelagem de I na FLONA de Caxiuanã, durante quarenta coletas semanais no ano de 2004

	Definição	unidade	valor
C_t	Quantidade de água armazenada no tronco	mm	1,2993
S_c	Capacidade de armazenamento do dossel	mm	1,6
S_t	Capacidade de armazenamento da superfície dos troncos	mm	0,1387
p	Coefficiente de precipitação livre direta	-	0,8127
p_t	Proporção de chuva que escorre pelos galhos e tronco	-	0,0222
b	Taxa de aumento da drenagem com a variação de C	-	5,25
D_s	Drenagem quando ($C = S$).	mm min ⁻¹	0,0014

Os valores de b e D_s são os propostos por Lloyd *et al.* (1988). Os valores de C_t e p foram obtidos da seguinte equação de regressão linear; $PI = 0,8127(P) - 1,2993$, entre a precipitação total incidente acima do dossel (P) e a precipitação interna (PI). Enquanto o valor de p_t originou-se da equação de regressão linear; $ESC = 0,0222(P) - 0,1387$, entre a P e o escoamento pelos troncos (ESC).

3.8.2. Cálculo da drenagem

O modelo também requer valores dos parâmetros de drenagem D_s e b , que são usados para calcular a drenagem a partir do dossel da seguinte forma:

$$D = D_s \exp[b(C - S)] \quad (15)$$

Em que, D é a drenagem, isto é a quantidade de água (mm) que cai das folhas, pedúnculos e pequenos galhos diretamente no solo e D_s é um parâmetro que representa o valor da drenagem quando a água acumulada no dossel é igual à capacidade de armazenamento do mesmo (S_c). Segundo Gash e Morton (1978), os parâmetros D_s e b proposto por Rutter *et al.* (1975), podem ser utilizados em outras aplicações.

3.9. Descrição do modelo analítico simplificado de Gash

Há diversos estudos sobre a determinação de I e E para florestas. Esses estudos resultaram freqüentemente em equações empíricas na forma de regressão entre I e P , isto é, como funções da seguinte forma:

$$I = aP + b \quad (16)$$

Em que, I é a quantidade de água interceptada e perdida por evaporação, isto é a perda por interceptação; P é o total de chuva acima do dossel, e a e b são os coeficientes de regressão. Essa equação pode ser usada para descrever conjuntos de dados de chuva, ou, se assume que há apenas um evento de chuva por dia, para descrever a perda por interceptação diária como uma função da precipitação total diária acima do dossel.

3.9.1. Teoria das equações de regressão

Gash (1979) cita o trabalho de Horton (1919) como o primeiro a expressar, para grandes eventos de chuva capazes de saturar o dossel, as perdas de interceptação como

$$I = \int_0^t E dt + S \quad (17)$$

Em que, E é a taxa de evaporação da água interceptada durante a chuva; S é a capacidade de armazenamento do dossel - total de água no dossel quando P e a PI cessam e o dossel esta saturado; t é o tempo de duração da chuva; evidenciando que a evaporação do tronco foi negligenciada. Se agora separarmos as evaporações antes e depois da saturação do dossel:

$$I = \int_0^{t'} E dt + \int_{t'}^t E dt + S \quad (18)$$

t' é o tempo necessário para ocorrer a saturação do dossel. A taxa média da evaporação, \bar{E} , do dossel saturado durante a chuva é definida por.

$$\bar{E} = \left(\frac{1}{t - t'} \right) \int_{t'}^t E dt \quad (19)$$

Por similaridade a taxa média da chuva, \bar{P} , é descrita como:

$$\bar{P} = \left(\frac{1}{t - t'} \right) \int_{t'}^t P dt \quad (20)$$

Tendo ainda

$$P - P' = \bar{P}(t - t') \quad (21)$$

Em que, P' é o total de chuva necessária para saturar o dossel. Considerando que não há gotejamento do dossel antes da saturação, assim P' também pode ser escrito como

$$(1 - p - p_t)P' = S + \int_0^{t'} E dt \quad (22)$$

Segundo Rutter *et al.* (1971, 1975), p é o coeficiente da precipitação livre, isto é, a proporção da chuva que passou através do dossel sem tocar em algum obstáculo, e p_t é a proporção da chuva que foi desviada como *ESC*.

Substituindo as equações (19), (20) e (21) em (18), tem-se

$$I = \int_0^t E dt + \left(\frac{\bar{E}}{\bar{P}} \right) (P - P') + S \quad (23)$$

Substituindo por P' da equação (22) e reescrevendo, tem-se

$$I = \left(\frac{\bar{E}}{\bar{P}} \right) P + \left(S + \int_0^t E dt \right) \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{E}}{\bar{P}} \right) (1 - p - p_t)^{-1} \right\} \quad (24)$$

Equacionando os coeficientes das equações (16) e (24), os coeficientes a e b da equação de regressão são identificados como:

$$a = \frac{\bar{E}}{\bar{P}} \quad (25)$$

$$b = \left(S + \int_0^t E dt \right) \left\{ 1 - \left(\frac{\bar{E}}{\bar{P}} \right) (1 - p - p_t)^{-1} \right\} \quad (26)$$

Em que os valores simples de a e b são derivados de uma regressão envolvendo um conjunto formado por diversos eventos de chuva, seus valores são considerados representativos para qualquer evento de chuva no conjunto. O fato é que na maioria das regressões entre I e P há grandes correlações, sugerindo que essa consideração fornece uma boa aproximação da realidade.

Segundo Gash (1979), infelizmente resultados de interceptação expressos em termos de precipitação introduzem empirismos não apenas na taxa média da evaporação, \bar{E} , mas também desnecessariamente na taxa média da precipitação, \bar{P} (Tabela 4). A duração da precipitação é simples de se medir como na equação original, e seria de grande ajuda no entendimento da maioria dos estudos de interceptação da precipitação pela vegetação.

Tabela 4. Valores dos parâmetros utilizados no cálculo do modelo simplificado de Gash (1979), para quarenta medidas semanais realizadas entre março e dezembro de 2004 para a FLONA de Caxiuanã

	Definição	unidade	valor
\bar{E}	Taxa média da evaporação	mm h ⁻¹	0,14
\bar{P}	Taxa média da precipitação	mm h ⁻¹	1,2
S	Capacidade de armazenamento do dossel	mm h ⁻¹	1,6
p	Coefficiente de precipitação livre direta		0,8127
p_t	Proporção de chuva que escorre pelos galhos e tronco		0,0222
a	Coefficiente da relação (\bar{E} / \bar{P})		0,1156

O valor de p foi obtido da seguinte equação de regressão linear; $PI = 0,8127(P) - 1,2993$, entre a P e a PI . Enquanto o valor de p_t originou-se da equação de regressão linear; $ESC = 0,0222(P) - 0,1387$, entre a P e o ESC .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise das medidas realizadas entre 18 de março e 30 de dezembro.

Durante toda a fase experimental, compreendida no período de 19/01/2004 a 30/12/2004, foram obtidos os dados de P e PI na FLONA de Caxiuanã, Pará. Desse período, foram estudadas apenas 40 coletas, realizadas entre 18 de março e 30 de dezembro, após solucionar o problema com os interceptômetros instalados nas árvores para medida do ESC . Essas coletas foram realizadas, em geral, semanalmente com intervalos predominantemente de sete dias, o ideal seria a quantificação das perdas por interceptação após cada evento de chuva, assim como analisou Lima (1998). Porém, é praticamente impossível, sobretudo em áreas tropicais. A região de Caxiuanã tem uma distribuição regular de chuvas, ou seja, uma região com alto índice pluviométrico, bem distribuído durante todo ano, em 2004 ocorreram 343 eventos de precipitação com volumes superiores a $1,6 \text{ mm h}^{-1}$ (Figura 15), essa e outras razões dificultam a leitura após um evento de chuva. Nos trabalhos observacionais de interceptação realizados em florestas tropicais, por razões de praticidade adota-se o método que integra os totais de um período com alguns dias ou semanas (Jackson 1971 e Ubarana 1994).

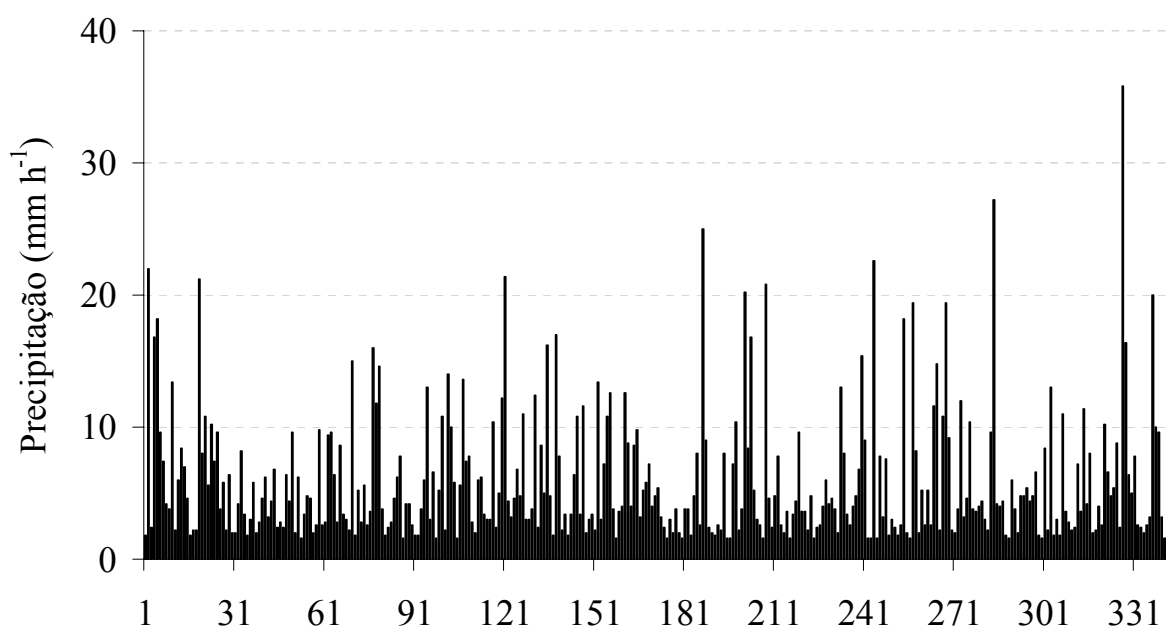


Figura 15. Precipitação horária, com intensidades maiores que $1,6 \text{ mm h}^{-1}$ durante o ano de 2004, na FLONA de Caxiuanã, Pará

Os valores de I foram calculados empregando-se a equação 5. Enquanto, que PE , ou seja, a quantidade de água de chuva que atingiu o solo florestal diretamente ou através do gotejamento dos ramos e folhas, foi resultante da soma da PI e ESC equação 6. Na Tabela 5 são apresentados os valores da P , PI , ESC , PE e I .

Tabela 5. Valores da precipitação total incidente acima do dossel (P), precipitação interna (PI), escoamento pelos troncos (ESC) e perdas por interceptação (I) em Caxiuanã, Pará para o período de 18 de março a 30 de dezembro 2004 em (mm) e (% de P)

	P	PI	ESC	PE	I
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Total	1153,4	885,4	20,0	905,4	248,0
		76,8	1,7	78,5	21,5

Nas 40 coletas realizadas semanalmente durante o ano de 2004, na área de estudo, a P totalizou 1153,4 mm (Figura 16), considerando-se apenas os eventos de chuva superiores a $1,6 \text{ mm h}^{-1}$, pois quantidades de chuva inferiores a esse valor são interceptadas pelo dossel e evaporadas. Este total foi redistribuído na forma de PI 885,4 mm (76,8% de P), de ESC 20,0 mm (1,7% de P) e de PE de 905,4 mm (78,5% de P). A diferença entre P e PE é representada por I que totalizou 248 mm (21,5% de P).

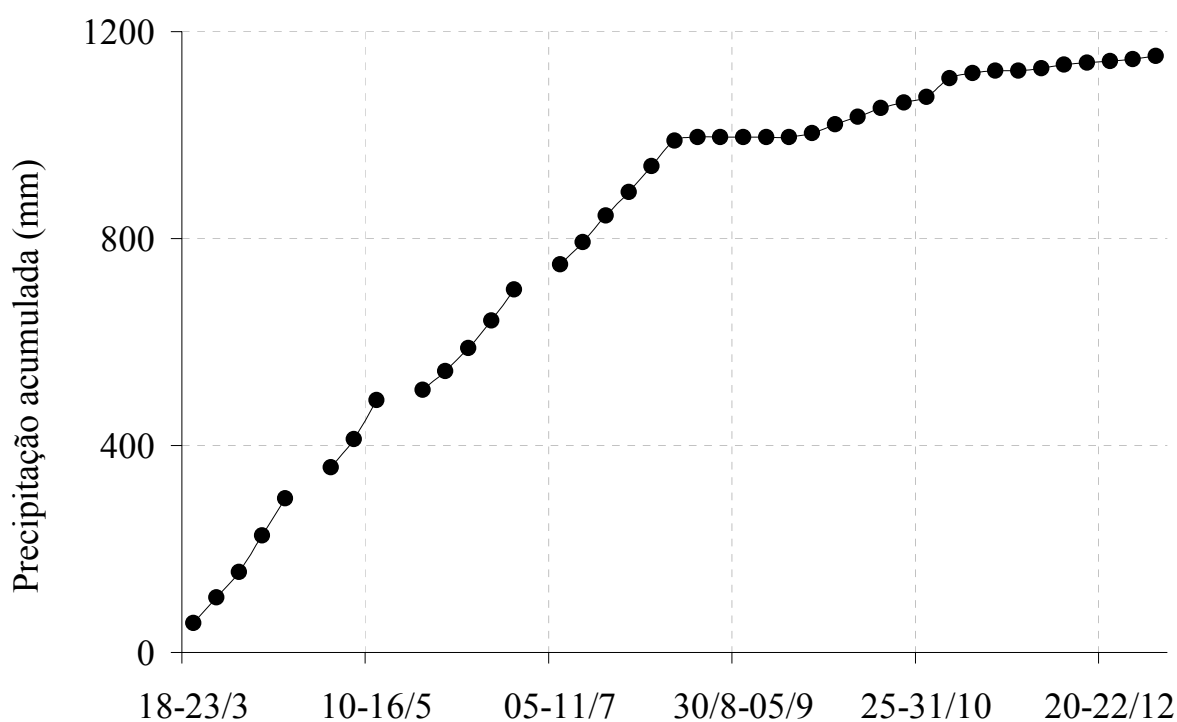


Figura 16. Precipitação acumulada no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004. Foram considerados eventos superiores a $1,6 \text{ mm h}^{-1}$ de precipitação

Os resultados obtidos neste estudo estão em concordância com diversos estudos realizados na Amazônia brasileira desde a década de 1980, (Tabela 6).

Tabela 6 - Comparativo dos valores (%) obtidos de *PI*, *I* e *ESC* para estudos realizados em diferentes sítios experimentais na Amazônia brasileira

Local	<i>PI</i>	<i>I</i>	<i>ESC</i>	autor
	(% de <i>P</i>)			
Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)	77,7	22,0	0,3	Franken <i>et al.</i> (1982a)
Reserva Florestal Ducke (AM)	80,2	19,8	-	Franken <i>et al.</i> (1982b)
Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)	-	25,6	-	Schubart <i>et al.</i> (1984)
Bacia Modelo, ZF-2, km 14 (AM)	78,4	21,3	0,3	Leopoldo <i>et al.</i> (1987)
Reserva Florestal Ducke (AM)	89,3	8,9	1,8	Leopoldo <i>et al.</i> (1987)
Reserva Florestal Ducke (AM)	91,0	7,2	1,8	Lloyd e Marques Filho (1988)
Reserva Vale do Rio Doce (PA)	86,2	12,9	0,8	Ubarana (1996)
Reserva Biológica do Jarú (RO)	87,0	11,6	1,4	Ubarana (1996)
Floresta Intacta, ZF-2, km 23 (AM)	80,8	19,2	-	Ferreira <i>et al.</i> (2005)
Floresta aberta Rancho Grande (RO)	89,8	2,4	7,8	Germer <i>et al.</i> (2006)
Florestal Nacional de Caxiuanã (PA)	76,8	21,5	1,7	Este estudo

4.1.1. Precipitação interna

A *PI*, medida por 25 pluviômetros, alocados de maneira aleatória semanalmente, para minimizar os erros de medição, atingiu um volume total de 885,4 mm. Este valor representou 76,8% da *P*. O valor de *PI* encontrado no presente estudo está em concordância com diversos outros trabalhos desenvolvidos para a região Amazônica. Em seus estudos realizados no Amazonas, Franken *et al.* (1982a) encontraram 77,7% para a estação da Bacia Modelo, no km 14 da ZF-2, e 80,2 % para a Reserva Florestal Ducke, Franken *et al.* (1982b). Ubarana (1996) em seus estudos para a Reserva Vale do rio doce, no sudeste do Pará encontrou 86,3 % e 87 % para a Reserva Biológica do Jarú, nordeste de Rondônia. Ferreira *et al.* (2005) estudando uma área de Floresta Preservada no km 23 da ZF-2 encontraram 80,8%. Germer *et al.* (2006) estudando a redistribuição de chuva pela vegetação no sítio Rancho Grande, próximo a

Ariquemes, Rondônia, no Sudoeste da Amazônia, encontraram 89,8 % de P para uma Floresta Ombrófila Aberta com grande quantidades de palmeiras de babaçu (*Orbignya phalerata*). Dos trabalhos supracitados, os maiores valores de PI em relação a P foram encontrados para sítios experimentais em Rondônia (87 %, Ubarana, 1996, e 89,8 %, Germer *et al.* 2006), em ambos os casos, a responsável pelos elevados valores de PI foi a grande presença de palmeiras que constituem a vegetação naqueles locais. No estudo atual e em outros anteriores, nota-se que a precipitação interna contribui com parte significativa da água que atinge a superfície.

A Figura 17 foi obtida da relação entre os valores individuais da P e a PI .

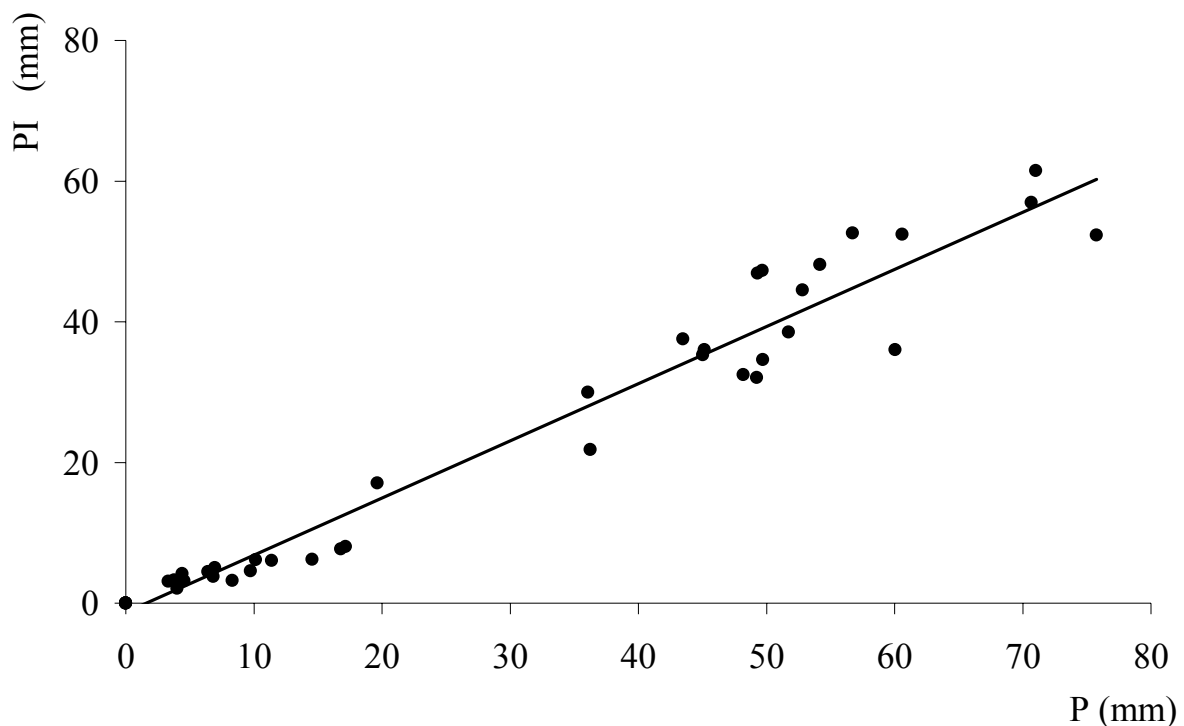


Figura 17. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (P) e a precipitação interna (PI), em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004

De acordo com a regressão apresentada na Figura 17, verifica-se por meio do coeficiente de determinação (R^2), que cerca de 95% da PI podem ser explicados por P .

A Figura 17 indica que a PI é altamente relacionada com a P , como descreve o modelo de regressão linear (Tabela 7). Por meio desta equação de regressão, $PI = 0,8127(P) - 1,2993$, estimou-se a capacidade de retenção de água pela cobertura do dossel, onde se constatou que as precipitações inferiores à cerca de 1,6 mm são totalmente interceptadas pela cobertura vegetal e devolvidas à atmosfera por evaporação. Outros valores observados em diversas regiões e ecossistemas estão relativamente próximos ao valor encontrado no presente estudo, como: 2,1 mm a capacidade de retenção da copa estimada em experimento realizado no Chile com *Pinus Radiata* (Huber e Oyarzún, 1992), 1,4 mm para mata ciliar na região Central de São Paulo (Lima, 1998, Lima e Leopoldo, 1999), 1,3 mm em fragmento secundário de mata Atlântica no Estado de Minas Gerais (Oliveira Júnior e Dias, 2005).

4.1.2. Escoamento pelo tronco

O ESC obtido foi de 20,0 mm, representando 1,7% da P . Esse valor aproxima-se do encontrado por Leopoldo *et al.* (1987) que foi de 1,8% para a Reserva Florestal Ducke no Amazonas, esse mesmo valor foi encontrado naquela área por Lloyd e Marques Filho (1988). Já Ubarana (1996) encontrou 1,4% para a Reserva Biológica do Jarú, em Rondônia e encontrou 0,8 % para a Reserva Vale do rio doce, no sudeste do Pará. Lima (1998), e Lima e Leopoldo (1999) obtiveram valores de 0,9 e 3,0 % para o extrato superior e o sub-dossel respectivamente, de uma mata ciliar com área de 3 ha na região Central do Estado de São Paulo. Estudando a redistribuição de chuva pela vegetação no sítio experimental Rancho Grande, Rondônia, no Sudoeste da Amazônia, Germer *et al.* (2006) encontraram um ESC representando 7,8 % de P para uma Floresta Ombrófila Aberta com grande quantidades de palmeiras de babaçu (*Orbignya phalerata*), segundo os autores, esse valor elevado para o

escoamento pelos troncos foi devido aos efeitos provocados pelo formato afunilado das folhas das palmeiras.

Os valores de *ESC*, que foram aparentemente pequenos, 20 mm representando 1,7% da *P*, não devem ser desprezados, pois têm importância na velocidade e quantidade da água que atingirá o solo florestal, permitindo uma boa infiltração, reduzindo a incidência de escoamento superficial. Em alguns trabalhos anteriores o escoamento pelos troncos foi considerado como um mecanismo de auto-abastecimento influenciando na intensidade e na quantidade de água que entrará no solo, devido à localização próxima aos troncos e raízes. Isso tem maior importância durante os períodos secos. (Price, 1982; Huber e Oyarzún, 1983; Johnson, 1990).

A Figura 18 foi obtida da relação entre os valores individuais da *P* com o *ESC*.

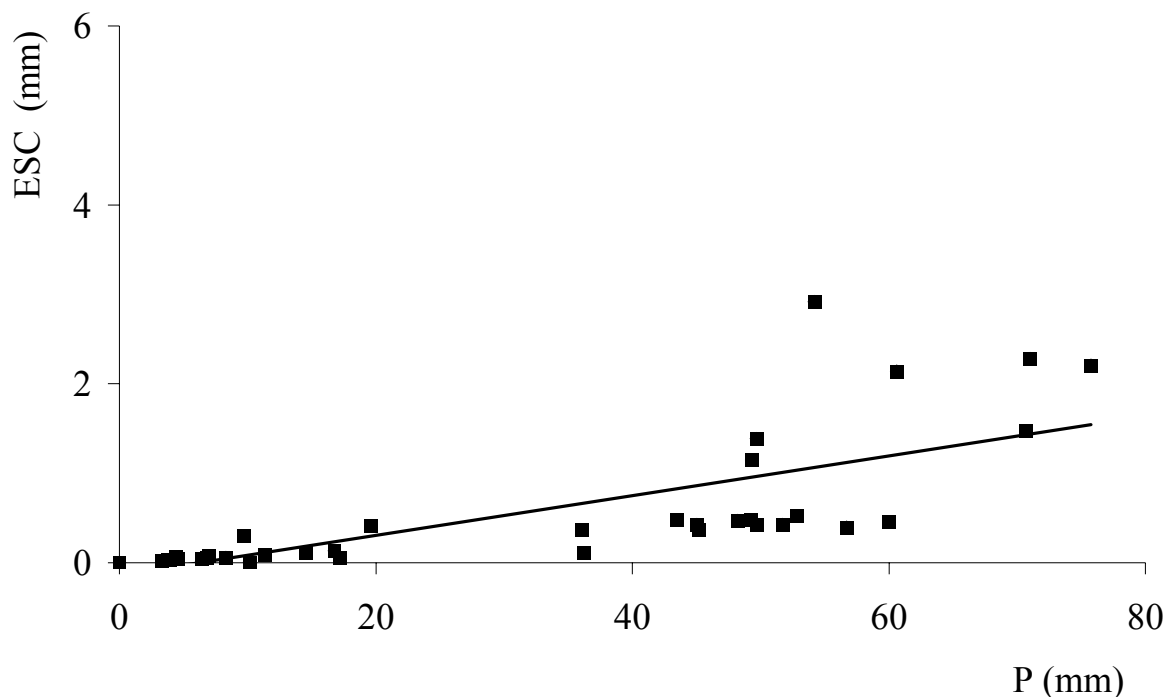


Figura 18. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (*P*) e o escoamento pelo tronco (*ESC*) em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004

Na Figura 18, nota-se que o *ESC* apresentou uma correlação apenas regular ($R^2 = 0,56$) com a *P*, indicada no modelo de regressão linear $ESC = 0,0222P - 0,1387$ (Tabela 7). Utilizando-se essa equação de regressão, estimou-se a capacidade de retenção de água pelos troncos, onde se constatou que valores de precipitações inferiores a $6,2 \text{ mm h}^{-1}$, que são desviados para os troncos, são retidos e devolvidos à atmosfera por evaporação, não alcançando à superfície. Outros valores observados em diversas regiões e ecossistemas estão relativamente próximos ao valor encontrado neste trabalho, como: Leopoldo (1981) determinou 8,5 mm na Amazônia Central próximo a Manaus. Huber e Oyarzún (1983 e 1992) calcularam em experimento realizado no Chile com *Pinus Radiata* valores de 6,0 e 5,1 mm, respectivamente, para a capacidade de retenção da chuva pelos troncos. Lima (1998), e Lima e Leopoldo (1999) obtiveram um valor de 4,2 mm para mata ciliar na região Central de São Paulo. Oliveira Júnior e Dias (2005) determinaram 11,3 mm em fragmento secundário da Mata Atlântica no Estado de Minas Gerais.

4.1.3. Precipitação efetiva

A *PE* em Caxiuanã no período de estudo, foi de 905,4 mm, correspondendo a 78,5% da *P*. O percentual de *PE* em relação a *P*, encontrado no presente estudo está dentro do intervalo obtido em trabalhos anteriores desenvolvidos para a região Amazônica. Em seus estudos Franken *et al.* (1982a) calcularam 78,0 % para a estação da bacia Modelo, no km 14 da ZF-2, próxima à Manaus, Amazonas. Ubarana (1996) encontrou 87,1 % em seus estudos para a Reserva Vale do rio doce, no sudeste do Pará e 88,4 % para a Reserva Biológica do Jarú, nordeste de Rondônia. Germer *et al.* (2006) estudando a redistribuição de chuva pela vegetação no sítio Rancho Grande, Rondônia, no Sudoeste da Amazônia, encontraram 97,6 % de *P* para uma Floresta Ombrófila Aberta com grande quantidades de palmeiras de babaçu

(*Orbignya phalerata*), nesse trabalho o valor de *PE* em relação a *P* foi elevado devido a grande presença de palmeiras que constituem a vegetação naquele sítio experimental. No presente estudo e em outros anteriores, observou-se que a precipitação efetiva contribuiu com a maior parte da água que atingiu o solo da floresta.

Como esperado, ocorreu alta correlação linear entre *PE* e *P* na FLONA de Caxiuanã (Tabela 7), atestada pelo coeficiente de determinação $R^2 = 0,9539$ (Figura 19). Essa variação mostra o efeito linear das variáveis, precipitação interna e escoamento pelo tronco, em virtude da precipitação total incidente. De acordo com Castro *et al.* (1983), porcentagem de *P*, *PI* e *ESC* transformam-se em função logarítmica, ou seja, os valores tendem a se tornarem constantes a partir das chuvas de elevada altura pluviométrica.

A Figura 19 foi obtida da relação entre os valores individuais da *P* e a *PE*,

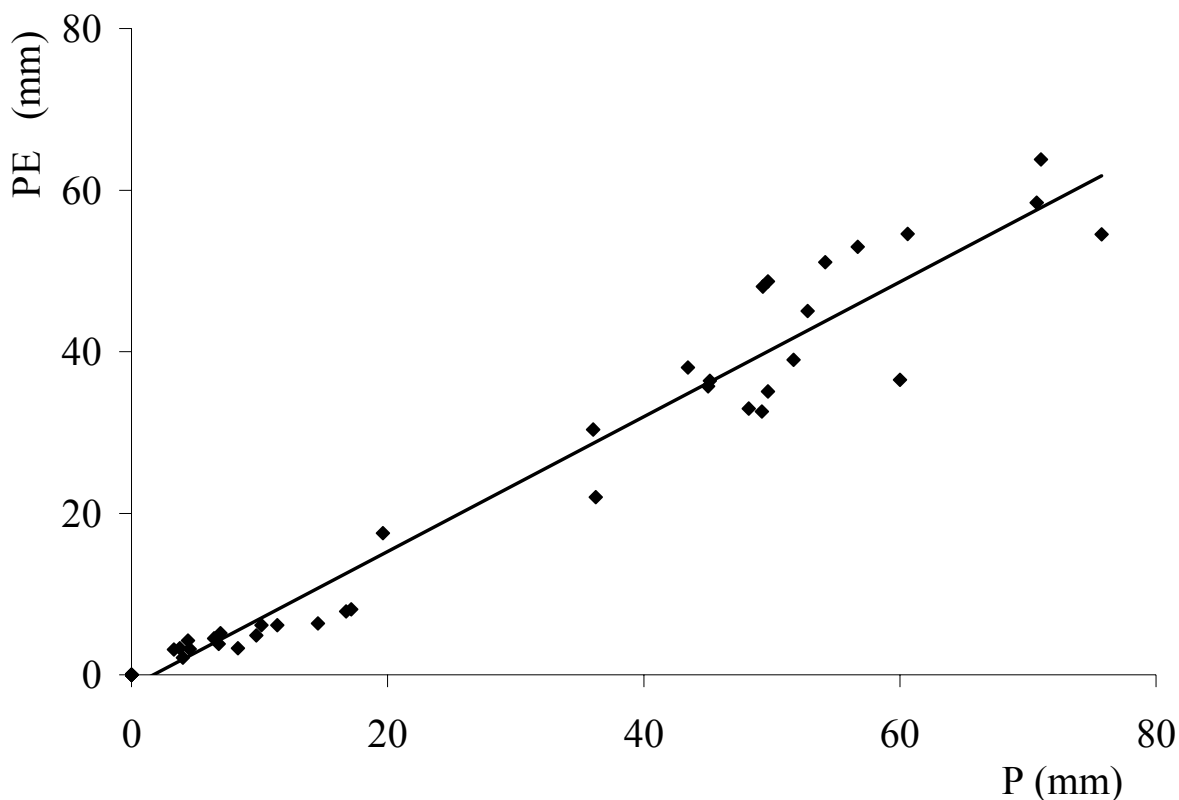


Figura 19. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (*P*) e a precipitação efetiva (*PE*) em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março a 30 de dezembro de 2004

4.1.4. Interceptação da precipitação pela vegetação

A I encontrada para o período de estudo foi de 248 mm (21,5% de P), é um valor significativo para região, e está de acordo com os valores encontrados em alguns estudos realizados no Estado do Amazonas: Franken *et al.* (1982) determinaram 22% na Bacia Modelo, ZF-2, km 14. Franken *et al.* (1982) 19,8% para a Reserva Florestal Ducke. Leopoldo *et al.* (1987) encontraram 21,3% para a Bacia Modelo, ZF-2, km 14, e 19,2% encontrado por Ferreira *et al.* (2005) para Floresta Intacta, ZF-2, km 23.

Germer *et al.* (2006) estudando a redistribuição de chuva pela vegetação em Rondônia, no Sudoeste da Amazônia, encontraram uma I de apenas 2,4 % de P para uma Floresta Ombrófila Aberta com grande quantidades de palmeiras de babaçu (*Orbignya phalerata*), em seu estudo o valor de I em relação a P foi extremamente baixo, causado pela presença significativa de palmeiras que constituem a vegetação no sítio experimental de Rancho Grande.

A contribuição do processo de interceptação da precipitação pela vegetação para o ciclo hidrológico da região da FLONA de Caxiuanã mostra-se bastante significativa. Considerando-se uma precipitação de 1.153,4 mm para esta região, estimou-se que em média 248,0 mm são interceptados pela cobertura vegetal da floresta e retornam à atmosfera para fazer parte da massa de vapor d'água da região. Essa vegetação também contribui na redução do impacto das gotas das chuvas sobre o solo, diminuindo os danos ao solo causado pela erosão e o conseqüente assoreamento dos leitos dos igarapés e rios da bacia hidrográfica local.

A Figura 20 foi obtida pela relação entre os valores individuais da P com I . Nessa figura verifica-se que I apresentou uma fraca correlação ($R^2 = 0,45$) com a P , indicada no modelo de regressão linear $I = 0,1651 (P) + 1,438$.

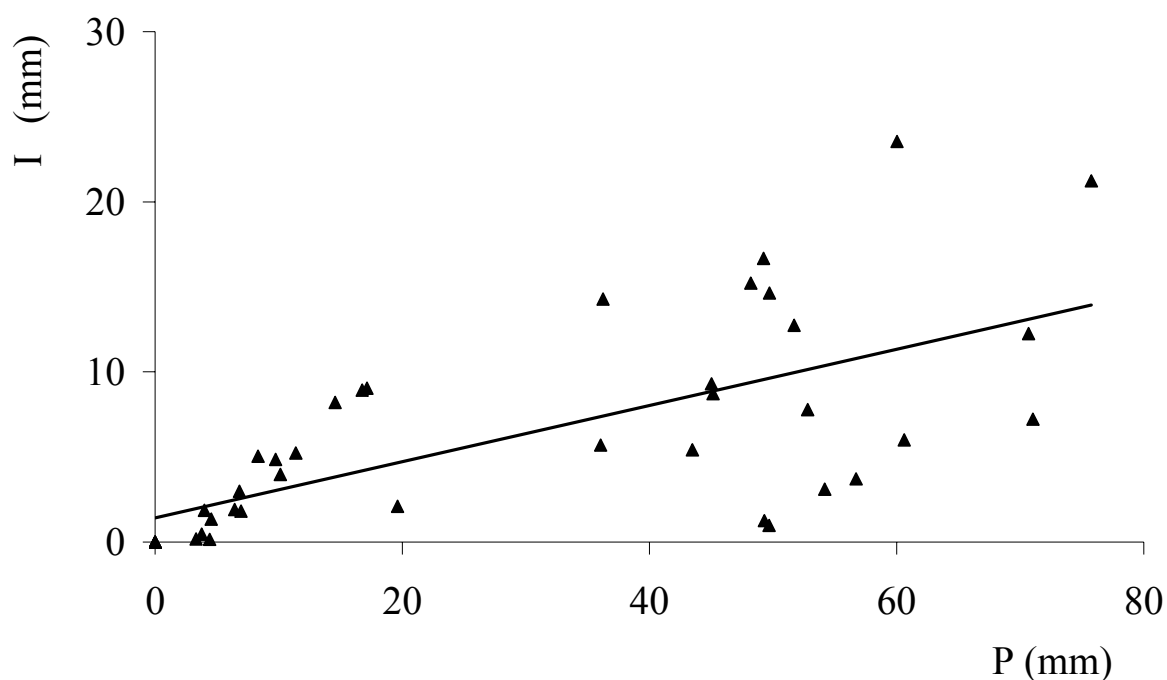


Figura 20. Correlação entre a precipitação total incidente acima do dossel (P) e a interceptação da precipitação (I), em Caxiuanã, Pará, no período de 18 de março 30 de dezembro de 2004

Nas Figuras 17 e 19, as correlações realizadas entre P , PI e PE mostraram grande interdependência entre elas. Já nas correlações entre P , ESC e I (Figuras 18 e 20) a dependência da magnitude da chuva acima do dossel é reduzida, mas verificam-se graus importantes de suas, intensidade e duração. Os coeficientes de determinação (R^2) assim como os modelos numéricos das correlações entre P e PI , PE , ESC e I que os geraram são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7. Modelos numéricos obtidos pelas regressões lineares entre a precipitação acima do dossel (P) e as demais variáveis: Precipitação interna (PI), Precipitação efetiva (PE), escoamento pelos troncos (ESC), e interceptação (I), durante quarenta coletas semanais no período de 18 de março a 30 de dezembro de 2004

Variáveis correlacionadas	modelos numéricos	R^2
Precipitação interna	$PI = 0,8127(P) - 1,2993$	0,9559
Precipitação efetiva	$PE = 0,8349(P) - 0,9539$	0,9539
Escoamento pelos troncos	$ESC = 0,0222(P) - 0,1387$	0,5581
Interceptação	$I = 0,1651(P) + 1,438$	0,4475

Os totais acumulados (mm) da *PI*, *PE* e *I*, na FLONA de Caxiuanã acompanharam a variação da *P* em todo período analisado de 2004 (Figura 21). Observa-se claramente o desenvolvimento do volume precipitado acima do dossel durante o período de março a junho (época chuvosa) quando *P* ultrapassou os 700 mm, refletindo diretamente nas variações de *PI* que atingiu acima de 580 mm e de *PE* que praticamente alcançou os 600 mm, *I* passou dos 100 mm nesse período. Para o segundo semestre de 2004, nota-se uma redução acentuada na intensidade registrada de *P* que alcançou em torno dos 230 mm, influenciando nas variações de *PI* e *PE* que oscilaram em torno de 140 mm, uma vez que nesse período seco o *ESC* é praticamente desprezível, sendo menor que 2% de *P*, pois as precipitações ocorridas no período são em geral, de baixa intensidade, sendo normalmente interceptadas e evaporadas para a atmosfera. As perdas por interceptação permanecem quase que na mesma magnitude do período chuvoso, alcançando aproximadamente 95 mm, porém, como a *P* no período seco sofreu uma grande redução (de 700 para 230 mm), a importância da interceptação da precipitação pela vegetação aumenta. Pois, um percentual muito maior da chuva que atingiu a parte superior da vegetação, foi reciclado na forma de vapor para atmosfera, contribuindo para a manutenção do ciclo hidrológico que mantém a floresta Amazônica com suas características atuais.

Segundo Oliveira Júnior *et al.* (2005) os valores de *P* e *PE* podem ser diferentes principalmente em virtude da quantidade de diversidade e idade de espécies, nível de inclusão de DAP, tipo de coletor de escoamento pelo tronco, arquitetura e forma de copa, estratificação das copas, filotaxia, tipo de folha, tamanho e forma da folha, tipo de casca e irregularidades no tronco.

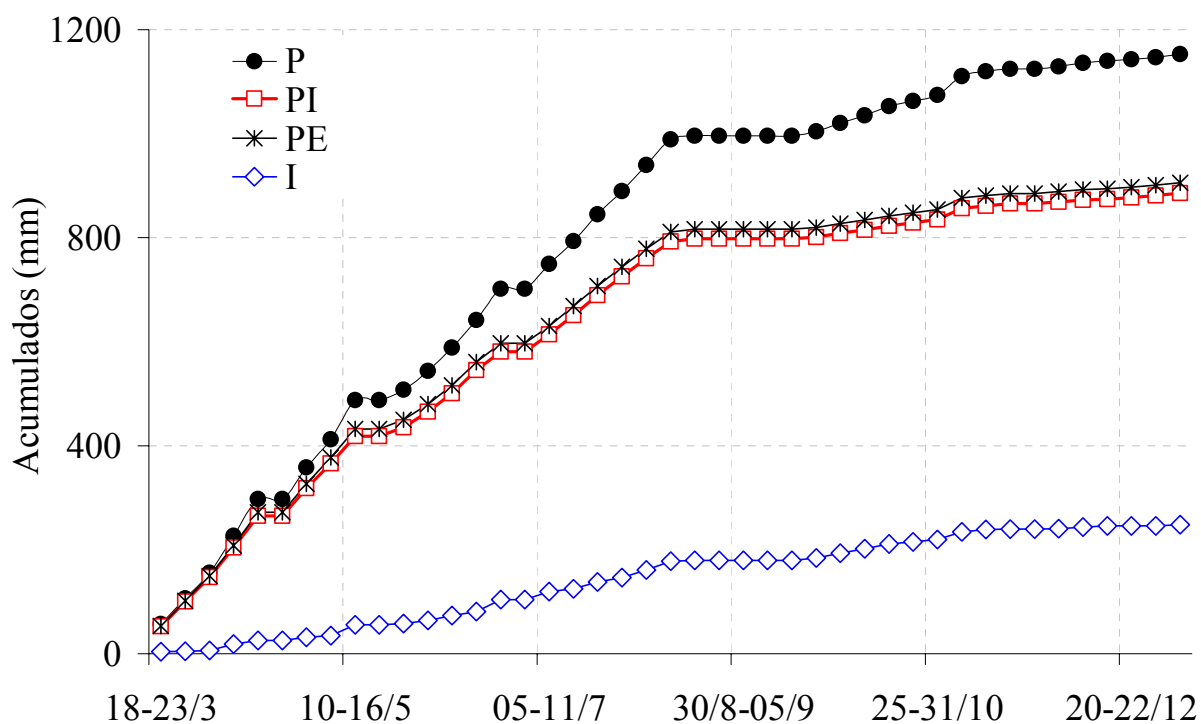


Figura 21. Valores semanais acumulados da precipitação total incidente acima do dossel (*P*), precipitação interna (*PI*), precipitação efetiva (*PE*) e interceptação da precipitação pela vegetação (*I*) em Caxiuanã, Pará, entre março e dezembro de 2004

4.2. Análise da sazonalidade

4.2.1. Caracterização dos períodos de estudo

O regime de chuva na região Amazônica não apresenta uma estação seca bem definida, sendo, entretanto, possível diferenciar o período chuvoso e seco (Souza Filho *et al.*, 2005). Na FLONA de Caxiuanã a estação chuvosa estende-se de dezembro a junho, em quanto que os meses de agosto a novembro representam a estação seca. A estação chuvosa foi representada nesse estudo pelo período de 18 de março a 27 de junho de 2004, quando foram realizadas treze coletas semanais. A estação seca foi representada nesse estudo pelo período de 02 de agosto a 28 de novembro de 2004, quando dezessete coletas de dados foram realizadas.

As quarenta coletas semanais de P , PI , PE e I realizadas entre março e dezembro de 2004 são apresentados na Figura 22, com destaques para os períodos selecionados como chuvoso e seco quando foram realizadas treze e dezessete coletas de dados, respectivamente.

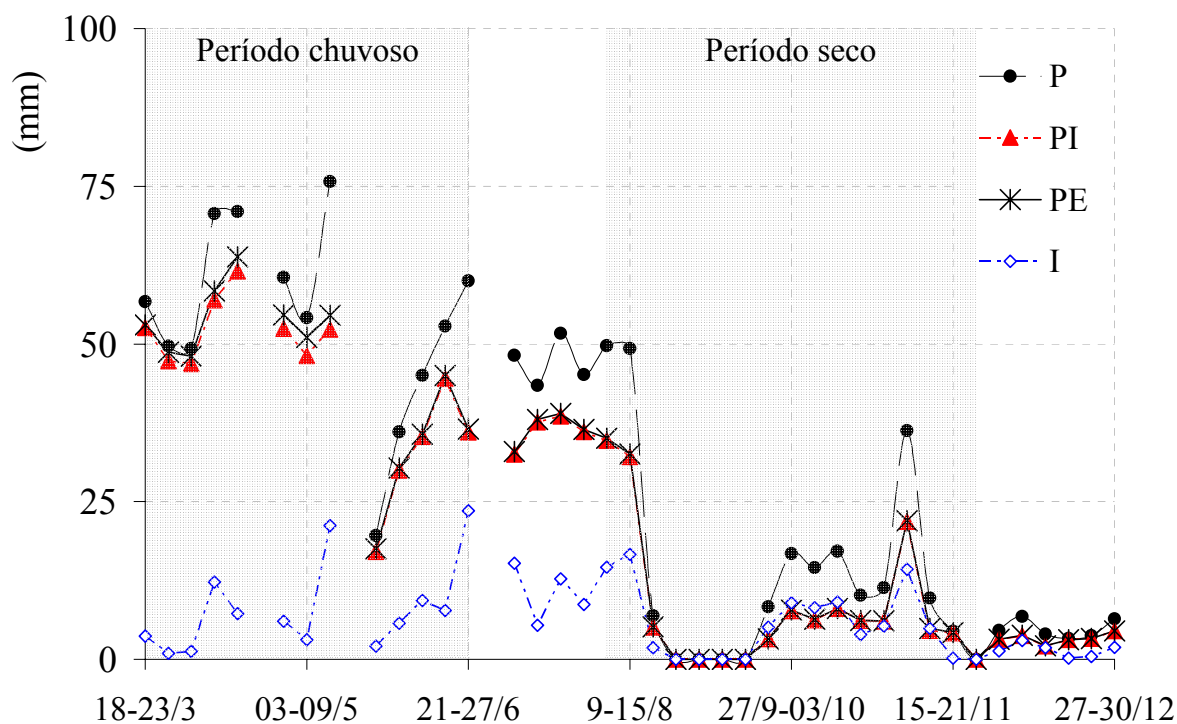


Figura 22. Variações temporais da precipitação total acima do dossel (P), precipitação interna (PI), precipitação efetiva (PE) e interceptação (I), durante o ano de 2004, as áreas sombreadas representam os períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

Os eventos de precipitação totalizados em cada coleta semanal produziram volumes de P acima de 70 mm em três oportunidades do período chuvoso, época de ocorrência de grandes chuvas, em volume e intensidade. Essa característica sazonal das chuvas em Caxiuanã fez com que o menor volume registrado nessa época fosse de aproximadamente 20 mm acumulados na coleta referente aos dias 24 a 30 de maio.

Para o período seco, os eventos de chuva acumulados em coletas semanais, produziram volumes de P abaixo de 20 mm, inclusive zero mm, em quase todas as medidas,

exceto em três coletas, quando foram registrados volumes de 36,2 mm (1 a 7 de novembro), 49,7 mm na coleta de 2 a 8 de agosto, e 49,2 mm para o período de 9 a 15 de agosto. Como foi analisado nos itens anteriores, esses três grande volumes acumulados influenciaram nos resultados das correlações lineares entre P e as componentes da interceptação da precipitação pela vegetação em Caxiuanã, fazendo com que essas correlações fossem melhores para época seca do que para o período seco.

Na tabela 8 são apresentados os valores acumulados das componentes para o período chuvoso e seco, onde a P totalizou nos períodos chuvoso e seco, 701,4 mm e 234,6 mm, respectivamente. Desses, 581,1 mm e 139,8 mm formaram a PI , respectivamente. Os ESC foram de 16,2 mm e 1,9 mm, respectivamente, e as PE atingiram 597,2 mm e 141,7 mm, respectivamente. I é representada pela diferença entre P e PE que totalizaram 104,2 mm e 92,9 mm, respectivamente. Significativas diferenças sazonais foram observadas nas variáveis.

Tabela 8. Valores sazonais em (mm) e (% em relação a P) de Precipitação Interna (PI), Escoamento pelos troncos (ESC), Precipitação Efetiva (PE), e Interceptação (I), para o período chuvoso, 18 de março a 27 de junho, e seco, 02 de agosto a 28 de novembro de 2004

Período	PI		ESC		PE		I		P
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)
Chuvoso	581,1	82,8	16,2	2,3	597,2	85,1	104,2	14,9	701,4
Seco	139,8	59,6	1,9	0,81	141,7	60,7	92,9	39,6	234,6

Os dados de P , PI , PE e I acumulados nos períodos (chuvoso) de 18 de março a 27 de junho e (seco) de 02 de agosto a 28 de novembro de 2004, são apresentados na Figura 22. Analisando a variação da P acumulada durante o período chuvoso (círculos cheios), nota-se acentuado crescimento durante todas as coletas, isso se deve à grande ocorrência de precipitações de alta intensidade e volume nessa época do ano.

A PI e a PE apresentam variações similares durante o período chuvoso, com crescimento acompanhando a trajetória de P , pois PI e PE são diretamente relacionadas a P .

Para o período seco, as variações apresentadas por P , PI e PE são de baixas intensidades. Mesmo considerando que nas coletas semanais possam ter ocorrido diversos eventos de precipitação, os volumes coletados foram pequenos, exceto em algumas chuvas mais intensas que ocorrem normalmente na Amazônia.

Das variáveis apresentadas na Figura 23, somente I mostrou uma variação volumétrica semelhante em ambos os períodos, isso é devido às diferentes características das chuvas nas duas épocas do ano.

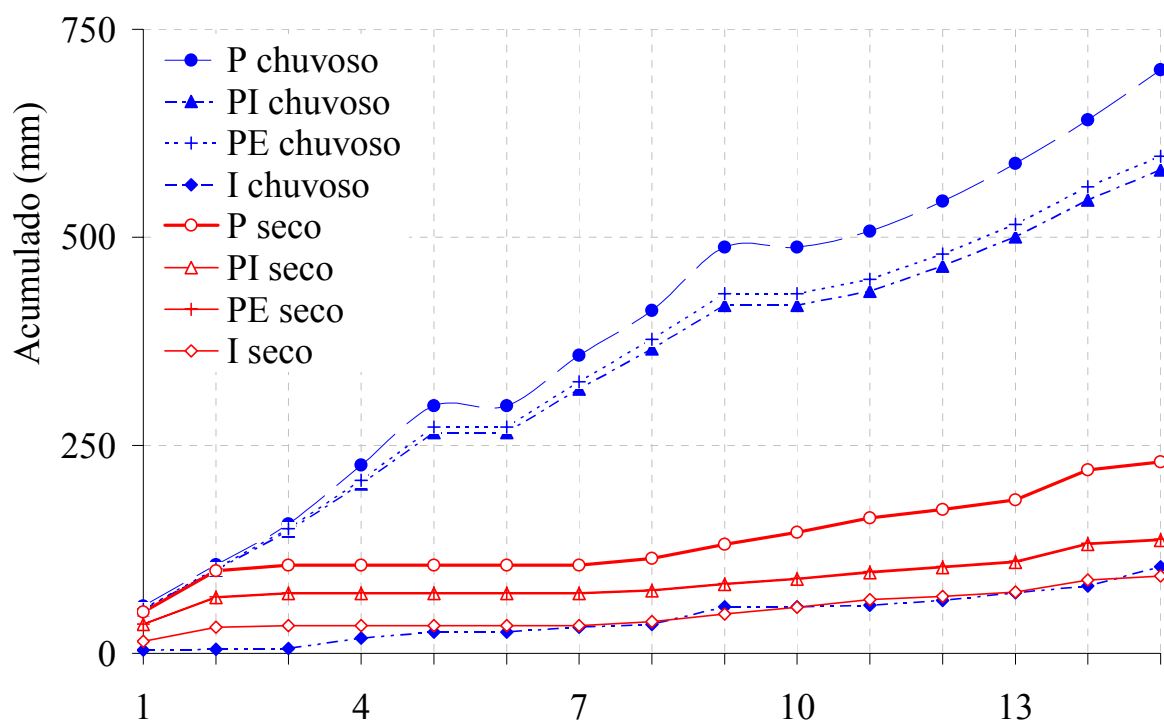


Figura 23: Precipitação total acima do dossel (P), precipitação interna (PI), precipitação efetiva (PE) e interceptação (I), acumuladas durante o ano de 2004, nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

Os dados da P , PI , PE , ESC e I foram submetidos à análise de regressão linear para estação chuvosa e seca, cujos resultados serão analisados separadamente nos tópicos subseqüentes.

4.2.2. Precipitação total incidente acima do dossel para as estações chuvosa e seca

A P acumulada foi de 701,4 mm e 234,6 mm para os períodos, mais chuvoso e seco, respectivamente. Conforme visto na Figura 24.

Os eventos de precipitação com grandes intensidades e volumes são comuns nos períodos chuvosos das regiões tropicais. Isso fica evidenciado quando se analisam as variações de P para a FLONA de Caxiuanã. Os volumes totais dos eventos de chuva acumulados em cada coleta semanal mostram uma regularidade crescente entre os meses de março e junho (círculos cheios).

Para o período seco, de agosto a novembro as P acumuladas apresentam volumes pequenos, em quase todas as coletas, exceto quando há ocorrência de eventos isolados de chuva com grande intensidade que provocam aumento do volume total. Há uma redução considerável nos totais acumulados entre as duas épocas do ano. O volume registrado no período seco representou apenas um terço do total medido na época chuvosa.

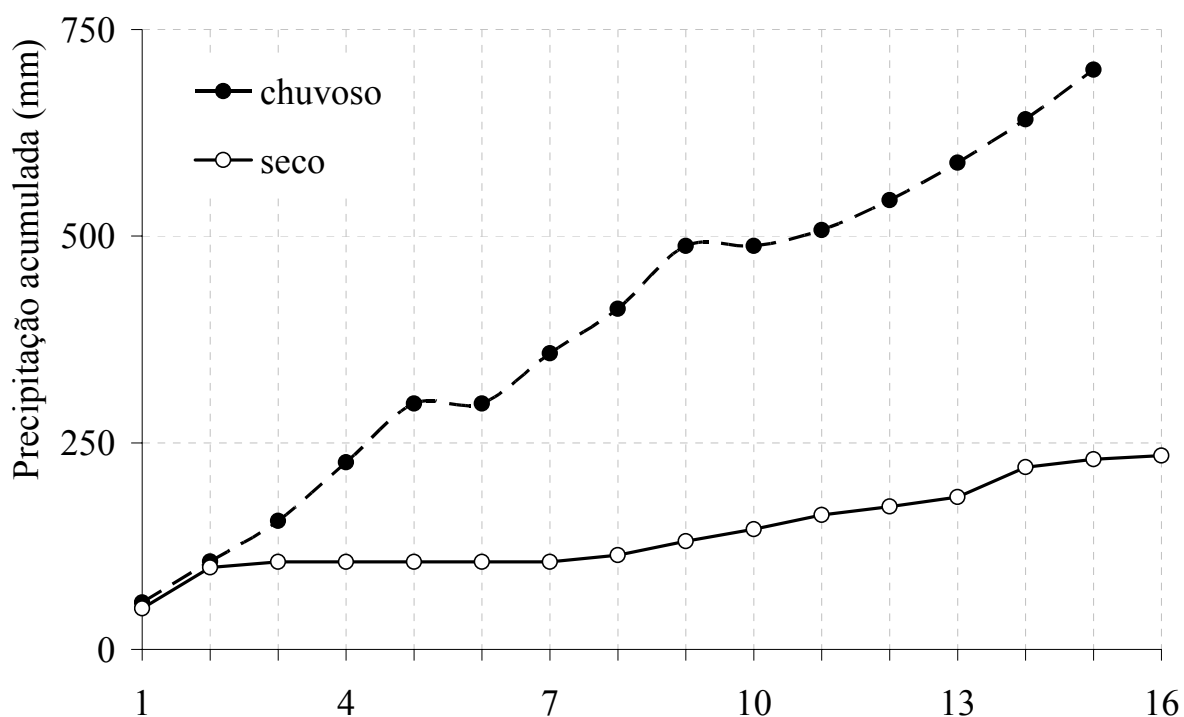


Figura 24. Precipitação total incidente acima do dossel (P) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

4.2.3. Precipitação interna para as estações chuvosa e seca

Como a PI é uma variável altamente dependente de P , suas variações acompanham as tendências apresentadas pela P . No período chuvoso, PI representou cerca de 83% de P , enquanto que para época seca sofreu uma redução quantitativa, de 580 mm para cerca de 140 mm, representando 60% de P . Suas variações foram causadas pelos mesmos fatores que influenciaram as medidas de P (Figura 25).

Os resultados obtidos nesse trabalho estão em concordância com estudos sazonais realizados por Arcova *et al.* (2003) que encontraram reduções na PI de 83,9% no período chuvoso, para 70,6% no período seco.

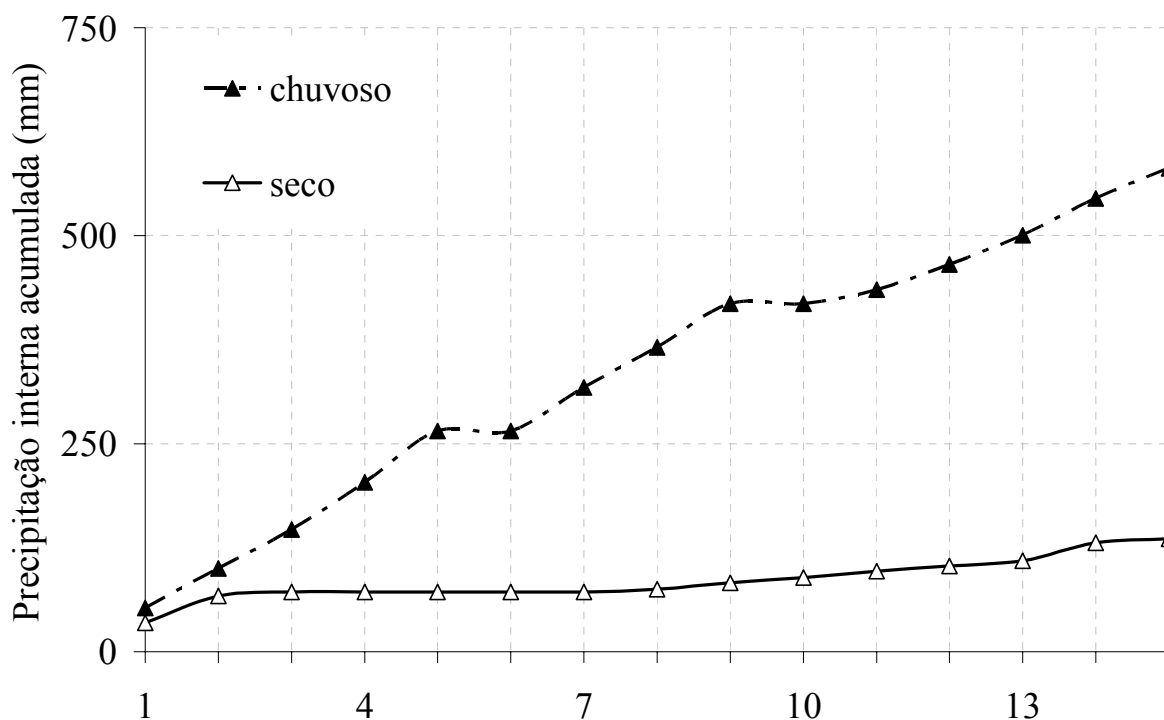


Figura 25. Precipitação interna (*PI*) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

A Figura 26 apresenta a correlação entre os valores de *PI* e *P* para as estações, chuvosa e seca, onde se confirma que a *PI* é altamente dependente de *P*, como indica o modelo de regressão linear. Sendo que a *PI* foi mais bem correlacionada com a *P* no período seco, $PI = 0,7089(P) + 6,4513$ com coeficiente de determinação de $R^2 = 0,9781$, do que no período chuvoso, $PI = 0,6582(P) - 0,8614$, com $R^2 = 0,7782$. Esse resultado difere dos obtidos por Arcova *et al.* (2003) que encontraram em seus estudos para a floresta de Mata Atlântica, com cerca de 1000 m de altitude, no Estado de São Paulo, boas correlações entre *P* e *PI* para o período chuvoso ($R^2 = 0,9931$) e seco ($R^2 = 0,9131$). Na FLONA de Caxiuanã essa correlação entre *P* e *PI* no período seco foi melhor do que no período chuvoso, devido à ocorrência de eventos isolados de precipitação de grande intensidade, durante o período seco, o que é bastante comum na região Amazônica. Molion e Dallarosa (1990) mostraram que, em áreas

próximas a grandes corpos d'água, ocorrem fenômenos de brisa fluvial, induzindo a formação de nuvens convectivas e conseqüentemente precipitação.

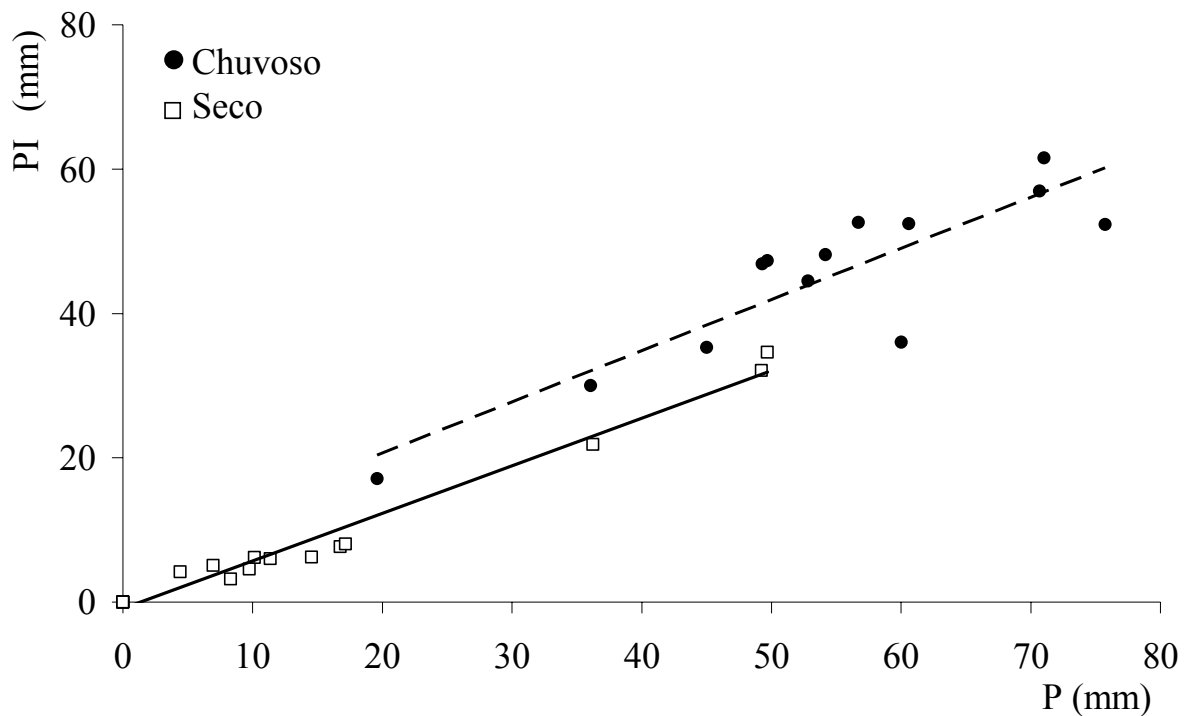


Figura 26. Correlação entre precipitação acima do dossel (P) e a precipitação interna (PI), durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

Como a PE é uma composição das variáveis PI e ESC , e já foi visto no item anterior que PI é altamente dependente de P , analogamente as oscilações de PE também serão ligadas às variações de P . Os resultados obtidos nesse trabalho estão em concordância com estudos sazonais realizados por Arcova *et al.* (2003) que encontraram reduções na PE de 84,1% para 70,8% do período chuvoso para o seco, respectivamente.

4.2.4. Precipitação efetiva para as estações chuvosa e seca

As *PE* decresceram de 85,1% do período chuvoso para 60,4% no período seco como mostrado na tabela 7, isto se deve às reduções ocorridas nas *PI* e nos *ESC* (Figura 27)

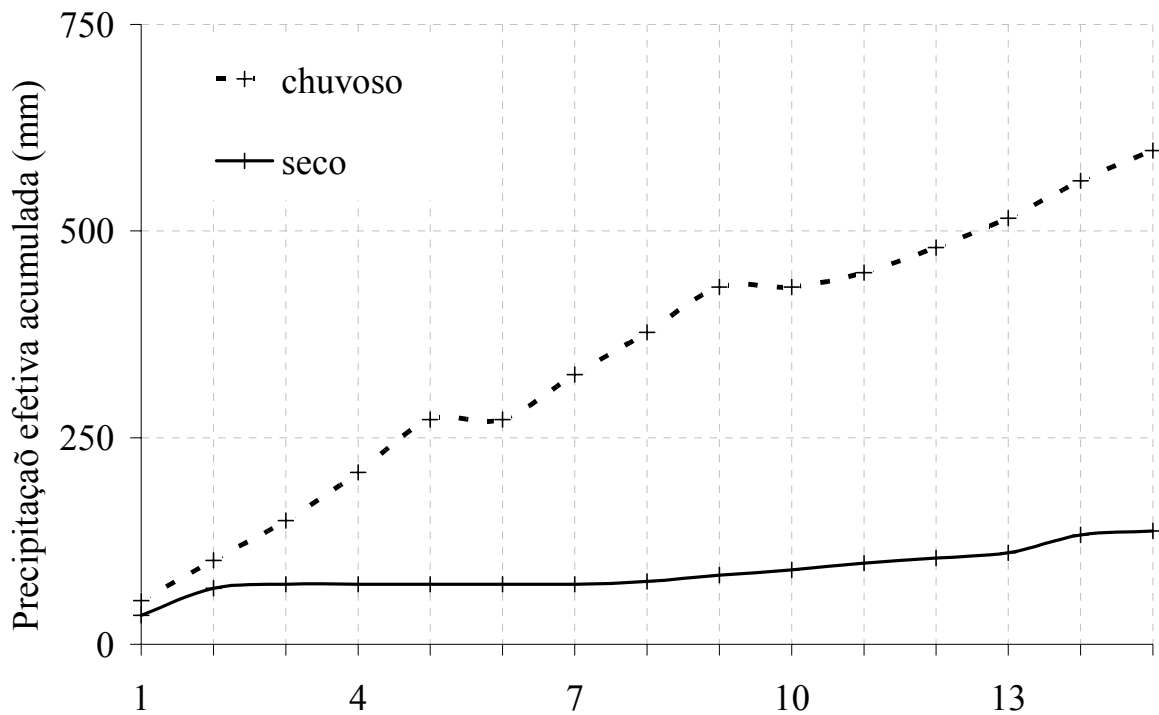


Figura 27. Precipitação efetiva (*PE*) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

Como já era esperada, devido a sua dependência direta de *P*, a precipitação efetiva (*PE*) apresentou boa correlação com *P*, sendo que coeficiente de determinação foi maior no período seco com $R^2 = 0,9513$ do que no período chuvoso com $R^2 = 0,777$, as equações de regressão linear são apresentadas na tabela 8.

Na análise sazonal realizada por Arcova *et al.* (2003), os autores não apresentaram as regressões entre *P* e *PE*, provavelmente porque os resultados obtidos nessas regressões seriam muito semelhantes aos das correlações entre *P* e *PI*. No presente estudo pode se comprovar esse fato, pois as relações entre *P* e *PI* resultaram em coeficientes de determinação $R^2 = 0,978$

e $R^2 = 0,778$ para os períodos seco e mais chuvoso, respectivamente. Enquanto que para relação entre P e PE resultaram em $R^2 = 0,951$ e $R^2 = 0,777$ para aos períodos menos e mais chuvoso, respectivamente (Figura 28).

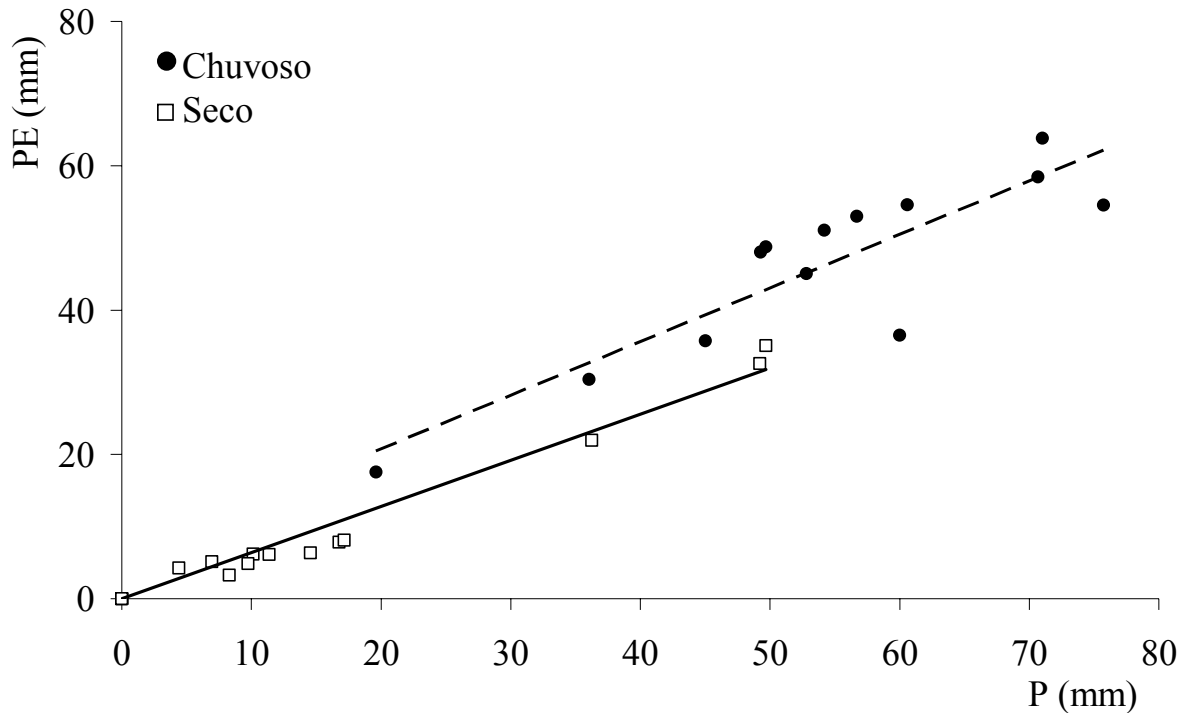


Figura 28. Correlação entre precipitação acima do dossel (P) e a precipitação efetiva (PE), durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

4.2.5. Escoamento pelos troncos para as estações chuvosa e seca

Os valores de ESC que foram aparentemente pequenos, 16,2 mm (2,3% da P) no período chuvoso, 1,9 mm (0,81% da P) no período seco, não devem ser negligenciados, pois têm importância na velocidade e quantidade da água que atingira o solo florestal, permitindo boa infiltração, reduzindo a incidência de escoamento superficial (Figura 29). Em estudos anteriores (Price, 1982; Huber e Oyarzún, 1983; Johnson, 1990), o ESC foi considerado como um mecanismo de auto-abastecimento influenciando na água que entrará no solo, devido à

localização próxima aos troncos e raízes. Isso tem mais importância durante os períodos secos.

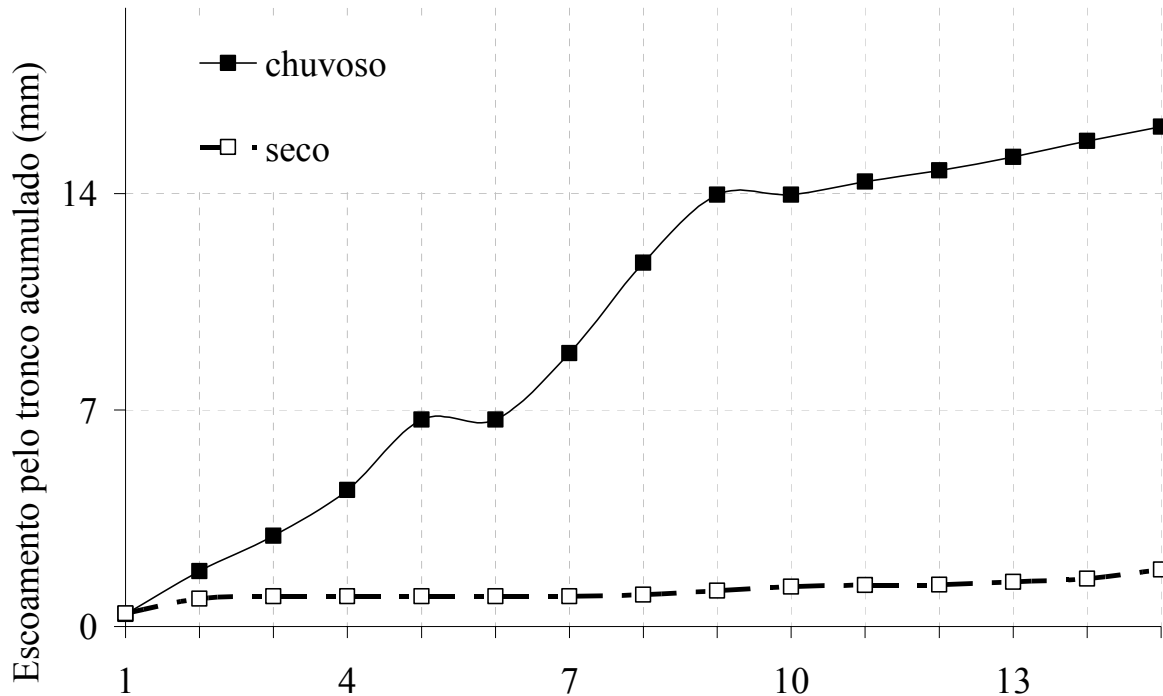


Figura 29. Escoamento pelo tronco (*ESC*) acumulado durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

Como *ESC* teve uma correlação razoável com *P* para o período seco ($R^2 = 0,7084$) a variação dos volumes acumulados de *ESC* nessa época do ano foi baixa, pois apenas os eventos de chuva mais intensa tiveram alguma contribuição para os volumes escoados pelos troncos, enquanto que as demais precipitações, de baixa intensidade, sofreram significativa ou total interceptação pelo dossel vegetal (Figura 30).

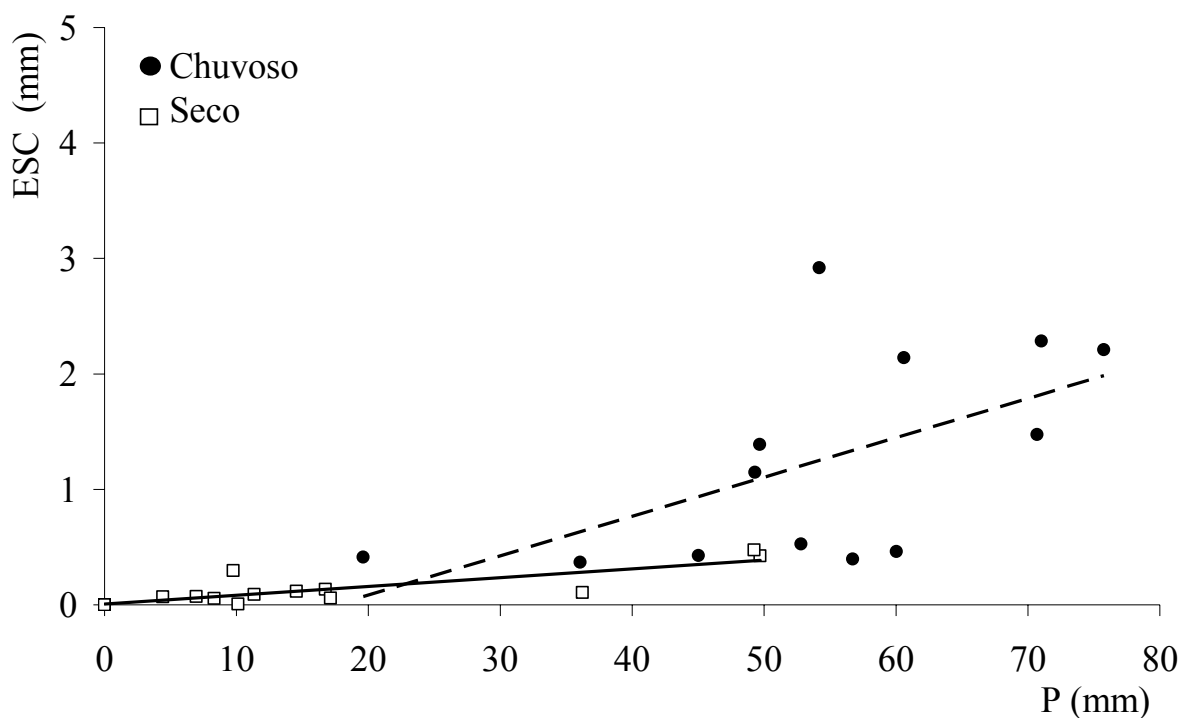


Figura 30. Correlação entre precipitação total incidente acima do dossel (P) e o escoamento pelo tronco (ESC), durante o ano de 2004, nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

Para o período chuvoso, a constante ocorrência de precipitações de grande intensidade, favorece o ESC durante toda essa época do ano, mesmo sendo um volume pequeno em relação à P , tanto em volume como percentualmente o ESC segue a mesma tendência de P .

Na Figura 30 são apresentadas as correlações do ESC com a P para as estações chuvosa e seca. A correlação do ESC com a P , apresentou um coeficiente de determinação de $R^2= 0,7084$ no período seco, mais que o dobro do alcançado no período chuvoso que foi de $R^2= 0,3313$ (Tabela 2). O ESC reduziu em dois terços, de 2,3% de P na estação chuvosa, para 0,81% de P na seca, mostrando a importância do escoamento pelos troncos para a reposição de água no solo (Tabela 8).

Arcova *et al.*, 2003 encontraram os seguintes valores de R^2 para o período chuvoso e seco $R^2 = 0,936$ e $R^2 = 0,8046$, respectivamente. Novamente para a FLONA de Caxiuanã essa correlação entre P e ESC , no período seco foi melhor do que no período chuvoso, devido à ocorrência, bastante comum na região Amazônica, de eventos isolados de precipitação de grande intensidade, durante o período seco. Os coeficientes de determinação (R^2) e os modelos numéricos das correlações entre P e PI , PE , ESC e I durante as duas estações do ano são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9. Modelos numéricos obtidos pelas regressões lineares entre a precipitação acima do dossel (P) e as demais variáveis: Precipitação interna (PI), precipitação efetiva (PE), escoamento pelos troncos (ESC), e interceptação (I), durante os períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e de 02 de agosto a 28 de novembro de 2004 (seco)

Variáveis correlacionadas	período chuvoso	R^2	período seco	R^2
Precipitação interna	$PI = 0,7089(P) + 6,4513$	0,7782	$PI = 0,6582(P) - 0,8614$	0,9781
Precipitação efetiva	$PE = 0,743(P) + 5,8541$	0,777	$PE = 0,5493(P) + 0,179$	0,9513
Escoamento pelos troncos	$ESC = 0,0341(P) - 0,5972$	0,3313	$ESC = 0,0076(P) + 0,0068$	0,7084
Interceptação	$I = 0,257(P) - 5,8541$	0,2943	$I = 0,3341(P) + 0,8546$	0,9184

Os coeficientes de determinação obtidos durante o período seco foram melhores que os calculados para o período chuvoso. Provavelmente devido à ocorrência de eventos de chuvas fortes convectivas durante a época seca, o que é comum na região Amazônica. As fracas correlações entre ESC e I com P no período chuvoso, possivelmente foram devido à grande frequência com que a capacidade de armazenamento de água no dossel foi atingida, durante as intensas chuvas que ocorrem na região no primeiro semestre do ano.

4.2.6. Intercepção da precipitação pela vegetação para as estações chuvosa e seca

Os valores de I acumulados semanalmente durante os períodos chuvoso e seco não apresentaram variações sazonais significativas (Figura 31). Os totais acumulados no final de cada época do ano não diferiram consideravelmente entre si, foram de 104 mm e 93 mm aproximadamente, para as épocas chuvosa e seca, respectivamente. Essa proximidade dos volumes registrados das perdas por intercepção em ambas as estações do ano, não reflete a real importância da I em cada um dos períodos estudados. Enquanto que para o período chuvoso, o volume interceptado representou cerca de 15% da P , o total das perdas por intercepção para o período seco significou quase 40% da P . Qualitativamente, esse percentual de I é mais significativo para manutenção da reposição da umidade para a atmosfera durante o período seco, do que para época chuvosa, pois no período seco a demanda da atmosfera por umidade é mais acentuada, e todo ou qualquer fornecimento de vapor d'água disponível, auxiliará na manutenção do ciclo hidrológico em escalas local e regional, com possibilidade de influencia no clima.

I mais que dobrou do período chuvoso de 14,9% para o seco 39,6% da P , devido à redução no volume e as características da P , como intensidade e duração, no período seco.

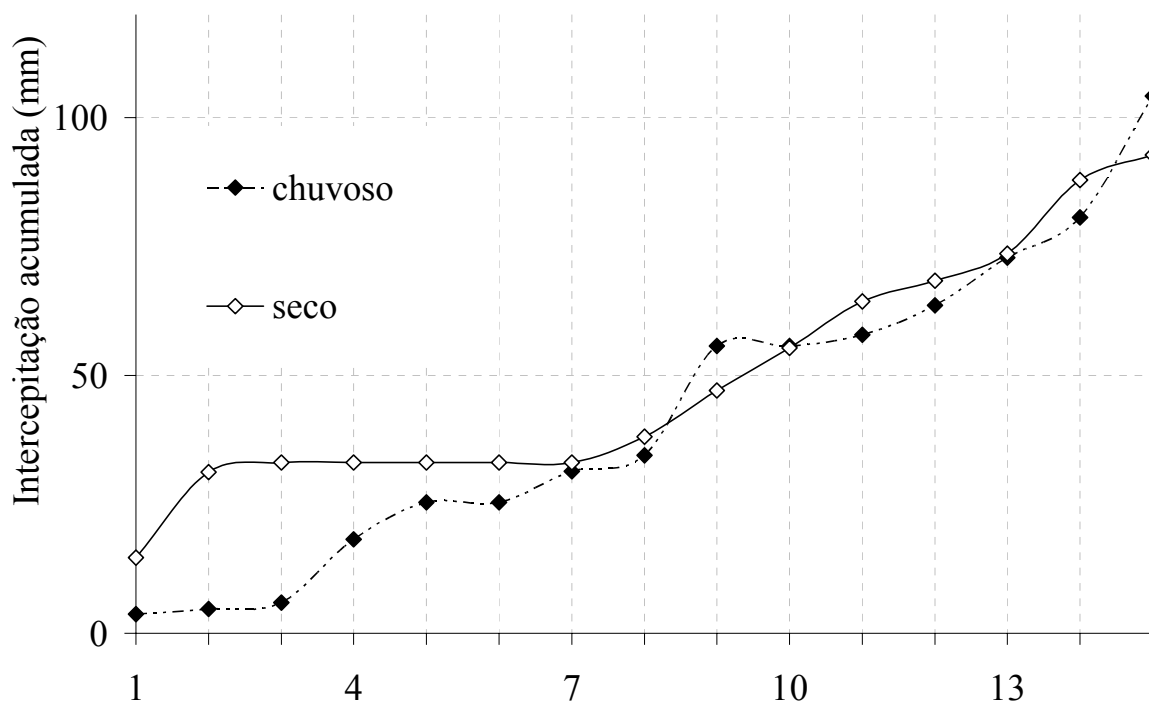


Figura 31. Interceptação da precipitação pela vegetação (I) acumulada durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

A Figura 32 apresenta a correlação entre a I e P . Devido a ocorrência de eventos de precipitação com grandes volumes em três coletas semanais durante o período seco, a I apresentou coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9184$), nesse período mais de três vezes superior ao obtido na época chuvosa, com $R^2 = 0,2943$ (ver Tabela 9). Isso mostra que no período seco, e certamente mais quente, a I contribui qualitativamente (percentual) mais com a transferência de vapor d'água para a atmosfera do ecossistema florestal de Caxiuanã do que na época das chuvas. Arcova *et al.* (2003) encontraram coeficientes de determinação da ordem de $R^2 = 0,8117$ e $R^2 = 0,5806$ para as épocas chuvosa e seca, respectivamente.

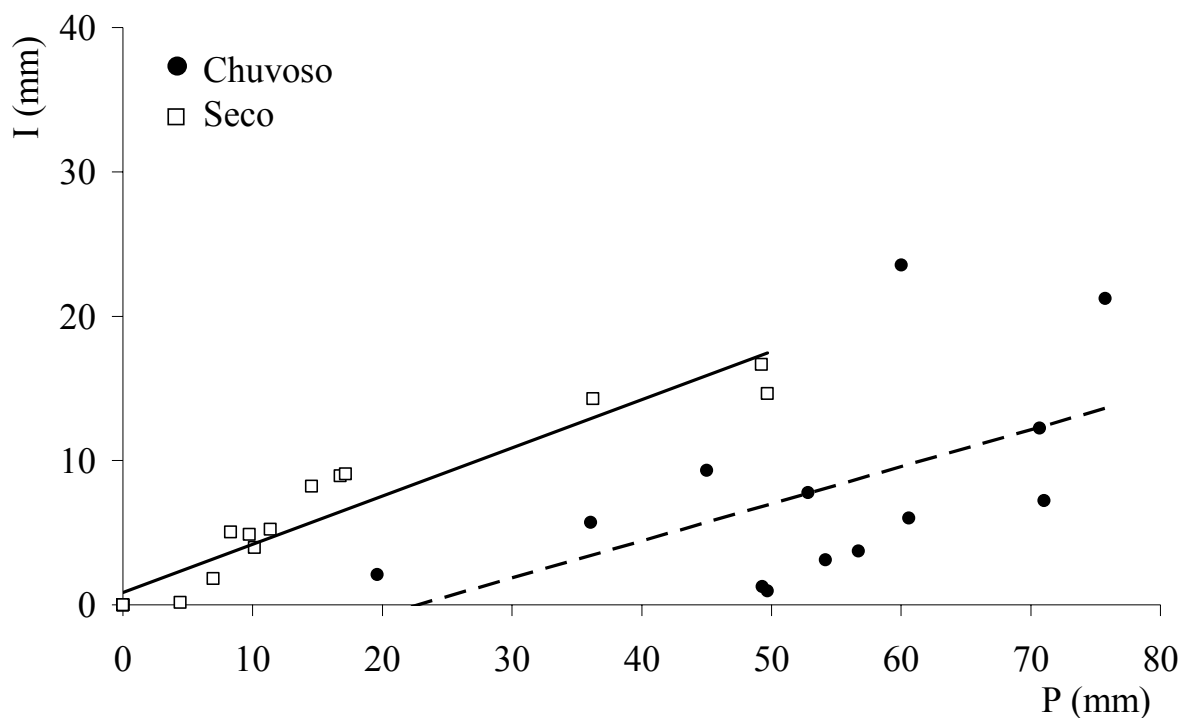


Figura 32. Correlação entre precipitação total incidente acima do dossel (P) e a interceptação da precipitação pela vegetação (I) durante o ano de 2004 nos períodos de 18 de março a 27 de junho (chuvoso), e 02 de agosto a 28 de novembro (seco)

No caso da FLONA de Caxiuanã, a contribuição do processo de I para o ciclo hidrológico da região, mostra-se bastante significativa, considerando-se a I , de aproximadamente 15% e 40% da P , nos períodos chuvoso e seco, respectivamente, que retornam à atmosfera para fazer parte da massa de vapor d'água da região. Esses teores de umidade lançados na atmosfera, em composição com os volumes transferidos pela transpiração vegetal, evaporação do solo e corpos d'água, contribuirão para a manutenção da ciclagem de água do ecossistema amazônico. A vegetação também contribui na redução do impacto das gotas das chuvas diretamente sobre o solo, diminuindo os danos de erosão à superfície e o conseqüente assoreamento dos leitos dos igarapés e rios da bacia hidrográfica local.

4.3. Aplicação de modelagem para estimativa da interceptação

4.3.1. Modelo de Rutter

Como a região da FLONA de Caxiuanã apresenta uma grande quantidade de precipitação e esse conteúdo é dividido regularmente durante todo ano, com uma sazonalidade definida, o passo inicial para se estimar I é o conhecimento dessa quantidade de água precipitada.

Durante todo o ano de 2004, foram registrados cerca de 2360 mm de precipitação (ver Figura 4 com a variação mensal) considerando todos os eventos de precipitação com qualquer volume de água.

Para a aplicação do modelo de Rutter é necessário se fazer diversas considerações. Uma delas é a determinação de armazenamento de água pelo dossel vegetal (S), isto é, a quantidade de água que o dossel pode armazenar antes de atingir a saturação quando se inicia o gotejamento da água excedente.

Para a FLONA de Caxiuanã o valor da capacidade de armazenamento do dossel, obtido da equação de regressão linear entre a P e a PI (ver tabela 6), sendo $S=1,6$ mm. Desse modo, sabendo-se que o dossel atingiu a saturação com eventos de chuva maiores que $1,6 \text{ mm h}^{-1}$, foram selecionados no grupo total de eventos de chuva somente aqueles superiores a esse valor.

Um conjunto de 343 eventos durante todo o ano de 2004, que produziam um volume total de 2019,4 mm de chuva (ver Figura 15) representando 85,6% da precipitação de todas as intensidades registradas no mesmo período. Os valores da precipitação de todas as intensidades acumulados no ano de 2004 e para os valores das precipitações maiores que $1,6 \text{ mm h}^{-1}$, durante o período utilizado nos cálculos das perdas por interceptação (18 de março a 30 de dezembro de 2004) são apresentados na Figura 33.

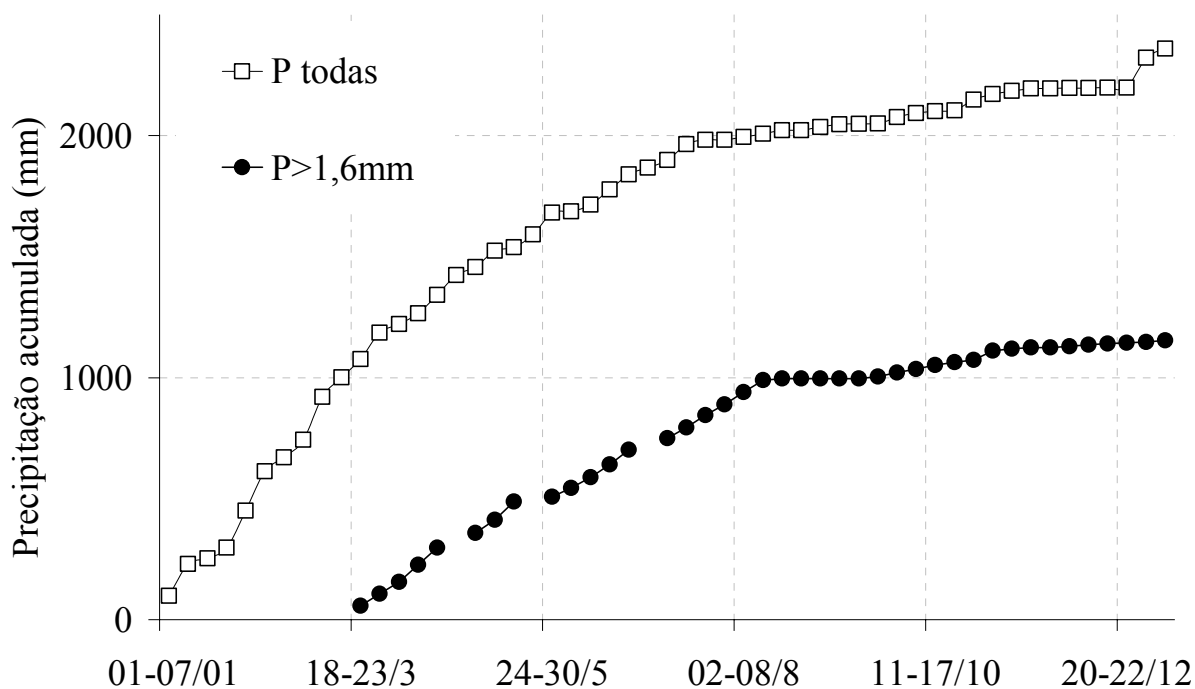


Figura 33. Precipitação acumulada para a FLONA de Caxiuanã, considerando-se todas as intensidades de chuva (quadrados vazios), durante todo o ano de 2004. E a precipitação acumulada (círculos cheios) durante quarenta semanas, considerando-se chuvas maiores que $1,6 \text{ mm h}^{-1}$, entre março e dezembro de 2004

A aplicação do modelo de Rutter com todas as considerações necessárias para as características específica da FLONA de Caxiuanã e os parâmetros descritos anteriormente, resultam em uma estimativa I muito boa quando se considerou os totais acumulados da I medida e estimados (Figura 34). Durante as quarenta medidas semanais, entre 18 de março e 30 de dezembro de 2004, o modelo de Rutter superestima I desde o início até aproximadamente a metade do período (agosto), quando estimou com uma precisão melhor as perdas por interceptação até meados de outubro, desse momento em diante, passou a subestimar I , até quase o final do período, quando eventos de precipitação com grande intensidade ocorreram e provocaram um melhor ajuste do modelo de Rutter novamente.

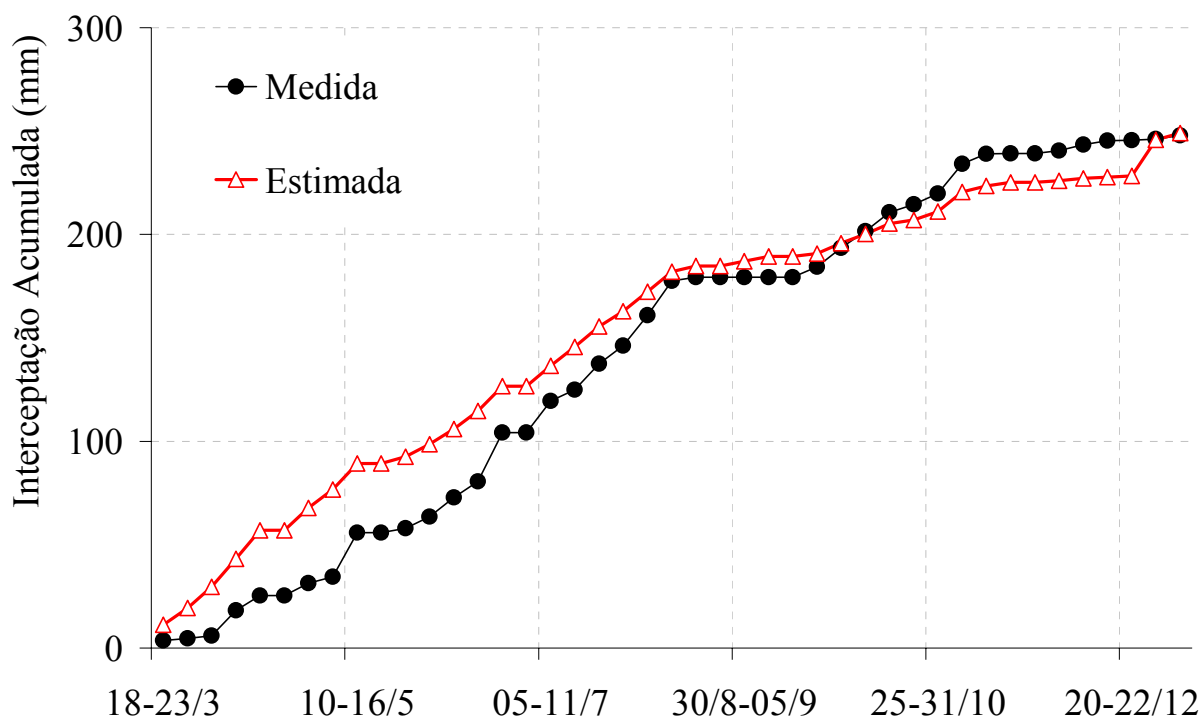


Figura 34. Interceptação acumulada medida (círculos cheios) e estimada pelo modelo de Rutter (triângulos vazados) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004

Em uma análise geral para todo o período estudado, o modelo de Rutter estimou de maneira excelente as perdas por interceptação da precipitação pela vegetação. A correlação entre os valores de I medidos e estimados pelo modelo de Rutter, durante as quarenta semanas estudadas em 2004, apresentou ótimo coeficiente de determinação $R^2=0,9829$, obtido pela equação de regressão linear $y=0,8145 x + 36,76$ (Tabela 10), sendo possível realizar uma boa estimativa das perdas por interceptação da precipitação pela vegetação (Figura 35).

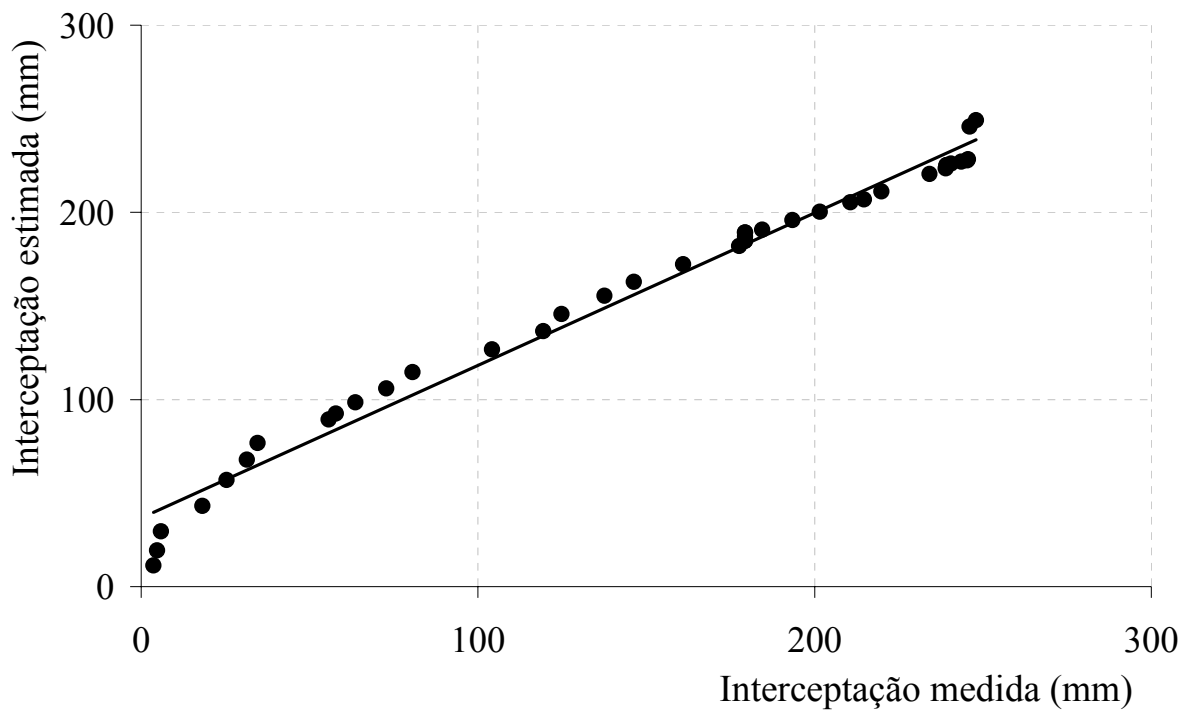


Figura 35. Correlação entre a interceptação acumulada medida e estimada pelo modelo de Rutter para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004

4.3.1. Modelo analítico simplificado de Gash

No caso do estudo na FLONA de Caxiuanã, foram selecionados quarenta conjuntos de dados obtidos em intervalos semanais. Esses valores foram então considerados, como diários, o que possibilitou a determinação de um valor médio da taxa precipitação acima do dossel (\bar{P}), ver Tabela 4, utilizados na entrada da modelagem de I . Valores de \bar{P} para as quarenta semanas, entre março e dezembro de 2004, são apresentados na Figura 36, assim como os respectivos desvios-padrão.

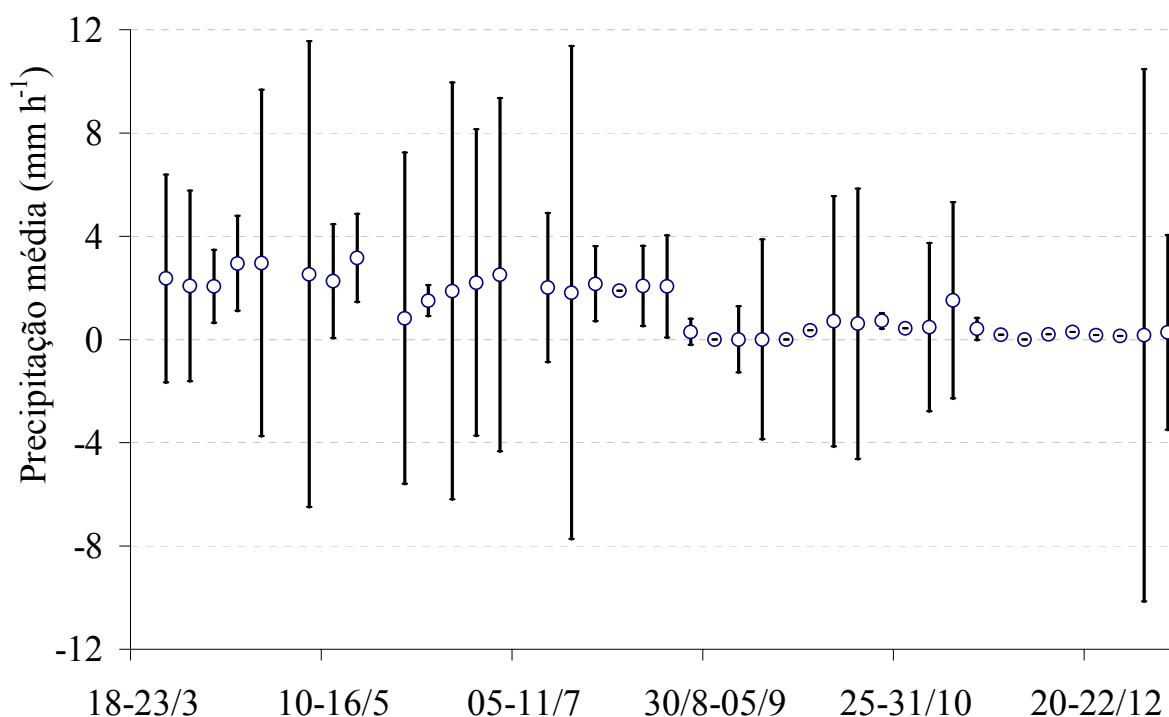


Figura 36. Precipitação média horária (círculos cheios) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta semanas, considerando-se chuvas maiores que $1,6 \text{ mm h}^{-1}$, entre março e dezembro de 2004. As barras verticais são os desvios-padrão

Outra variável necessária como entrada do modelo é a taxa média de evapotranspiração (\bar{E}), nesse caso também foi considerado que cada período de coleta semanal representaria um dia de chuva, permitindo a determinação de uma taxa média horária de evapotranspiração, $\bar{E} = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ (ver Tabela 4). Como o passo inicial para a seleção dos dados meteorológicos utilizados nos cálculos das estimativas de I foi a escolha dos valores de $P \geq 1,6 \text{ mm h}^{-1}$, muitos eventos ocorreram durante o período noturno, quando se calculou a E para os quarenta períodos semanais, alguns valores de E foram negativos. Desse modo, para as estimativas de I , somente foram usados os dados de E positivos. Gash (1979) já alertava para as dificuldades da utilização de valores empíricos como \bar{P} e \bar{E} . No presente estudo, o valor de $\bar{E} = 0,14 \text{ mm h}^{-1}$ utilizado, está próximo do obtido por Souza Filho *et al.* (2005) que estudaram os mecanismos de controle da variação sazonal da evapotranspiração para o mesmo

sítio experimental de Caxiuanã, e encontraram um valor de $\bar{E} = 0,15 \text{ mm h}^{-1}$. Valores das taxas médias para as quarenta coletas semanais são apresentadas na Figura 37, assim como os respectivos desvios-padrão.

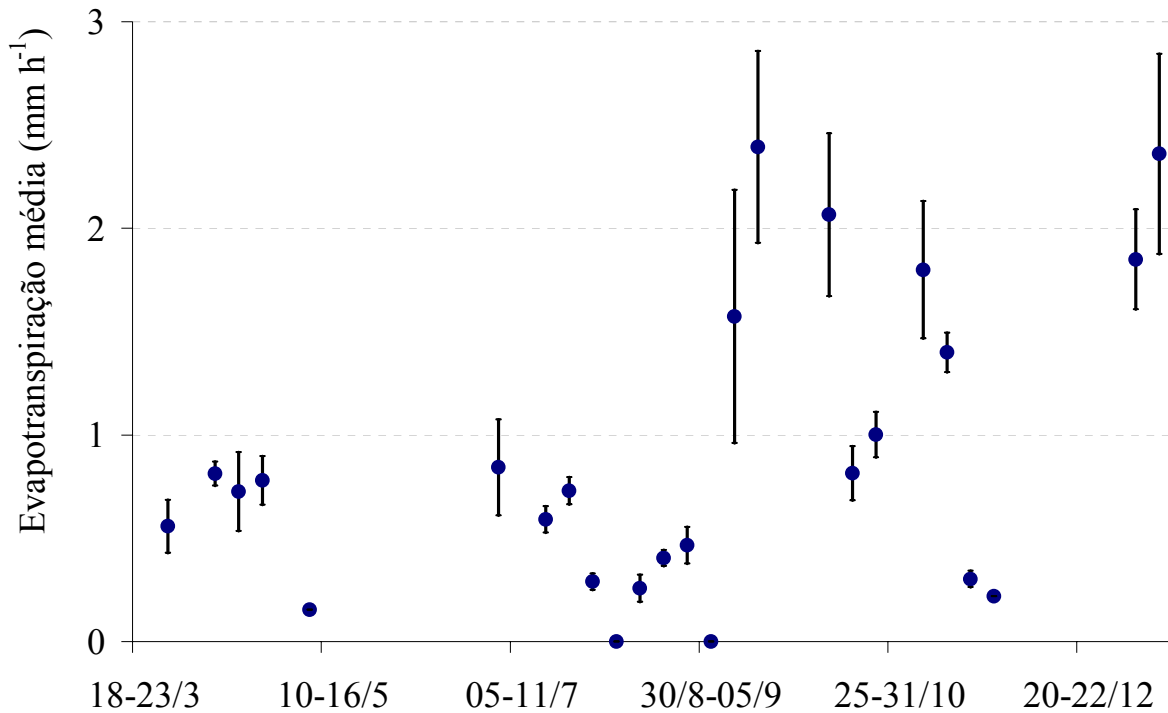


Figura 37. Evapotranspiração média horária (círculos cheios) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta semanas, entre março e dezembro de 2004. As barras verticais são os desvios-padrão

Assim como descrito por Gash (1979), as correlações entre os valores \bar{E} e \bar{P} não apresentaram bons coeficientes. Em seu estudo o autor encontrou valores de $R^2 = 0,178$ e $0,008$ para os anos de 1975 e 1976, respectivamente. No presente estudo para a FLONA de Caxiuanã, considerando apenas as coletas que apresentaram \bar{E} positivos, foi encontrado um $R^2 = 0,196$, muito baixo e estatisticamente insignificante.

Mesmo se utilizando de diversas considerações para se ajustar às características morfológicas da FLONA de Caxiuanã, o modelo simplificado de Gash apresentou satisfatória aproximação dos valores estimados e medidos da I acumulada para o período de março a dezembro de 2004 (Figura 38).

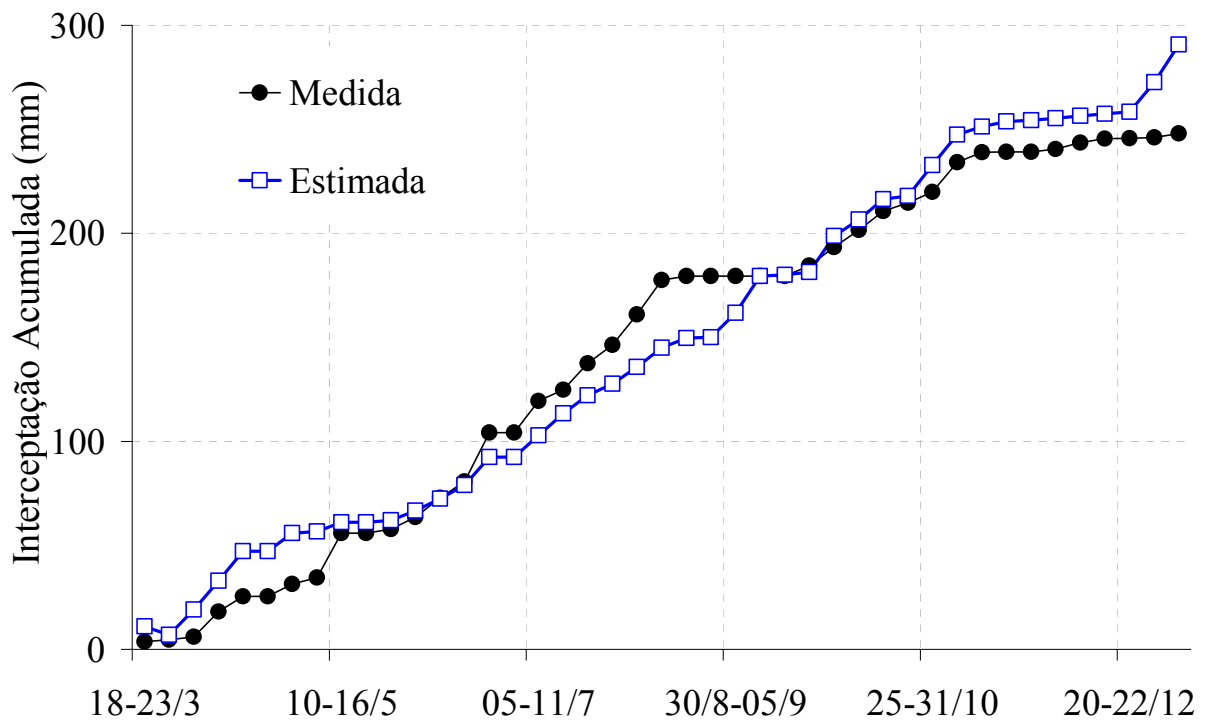


Figura 38. Interceptação acumulada medida (círculos cheios) e estimada pelo modelo de Gash (1979) (quadrados vazados) para a FLONA de Caxiuana, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004

Para o total acumulado durante as quarenta coletas semanais entre março e dezembro de 2004, o modelo de Gash superestima I em 42,8 mm (17,2%). O modelo superestima os valores medidos de I no início (março e abril) e no final do período do estudado (dezembro), épocas em que há ocorrência de eventos de chuvas que produzem grandes volumes. Para o período intermediário (de maio a novembro) o modelo subestima ou praticamente iguala os valores medidos. Na Figura 39 é apresentada a correlação entre os valores medidos e estimados de I , onde resultou na equação de regressão linear (Tabela 10).

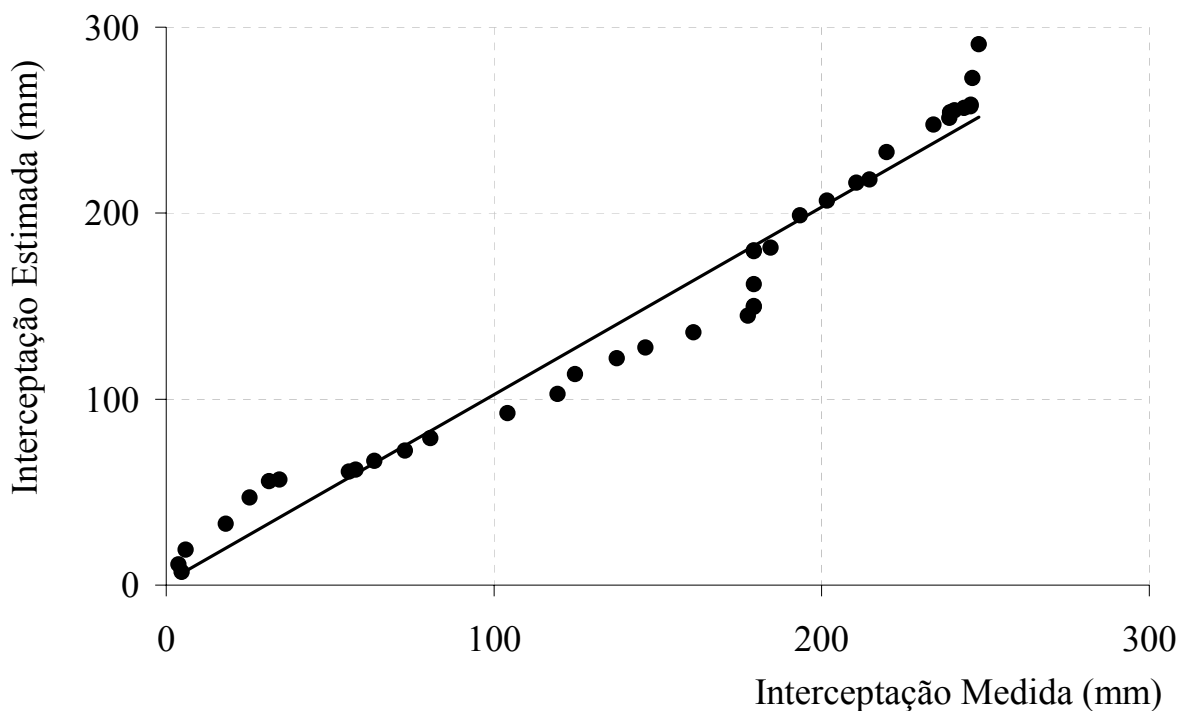


Figura 39. Correlação entre a interceptação acumulada medida e estimada pelo modelo de Gash (1979) simplificado para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004

Tabela 10. Equações de regressões lineares entre os valores medidos (x) e estimados (y) da *I* acumulada para Caxiuanã durante quarenta coletas semanais no período de 18 de março a 30 de dezembro de 2004

Autor	modelos numéricos	R ²
Gash	$y = 1,0084(x) + 1,6292$	0,9621
Rutter	$y = 0,8145(x) + 36,76$	0,9829

4.3.2. Comparação entre o modelo de Rutter e o modelo de Gash

Grande parte dos estudos para determinação de *I*, realizados nas mais diferentes partes do mundo, e em distintos tipos de vegetação, objetiva encontrar uma maneira de determinar a quantidade de água representativa dessa componente importante do balanço hídrico.

A realização de medidas, *in situ*, nem sempre é possível, visto que há dificuldades financeiras, ou de acesso físico aos locais de interesse, falta de informações meteorológicas básicas, de pessoal qualificado para realizar as coletas e o tratamento das informações. Essas, dentre outras dificuldades existentes, fazem com que, cada vez mais, se procure aplicar modelos matemáticos na simulação da realidade de campo.

Como cada localidade de interesse para as pesquisas tem suas características peculiares, é normal que os modelos criados para determinada situação, não se mostrem adequados para todas as regiões.

Os modelos de Rutter (1971) e Gash (1979) escolhidos para o cálculo das estimativas de I na FLONA de Caxiuanã produziram bons resultados quando comparados com os valores obtidos em experimento observacional no campo (Figura 40).

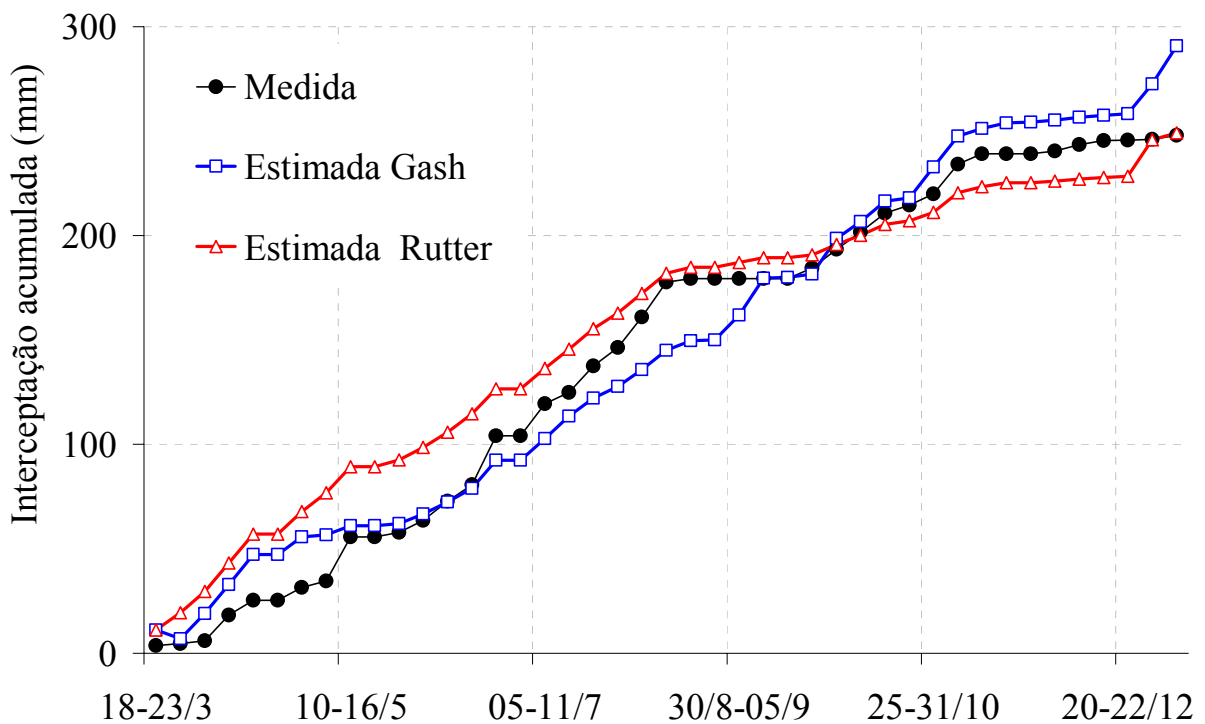


Figura 40. Interceptação acumulada medida (círculos cheios), estimada pelo modelo de Gash simplificado (quadrados vazados) e estimada pelo modelo de Rutter (triângulos vazados) para a FLONA de Caxiuanã, durante quarenta medidas semanais entre março e dezembro de 2004

Na comparação desses modelos em outras regiões (Tabela 11), observa-se que os resultados obtidos para a FLONA de Caxiuanã estão dentro de um intervalo aceitável de eficiência.

Tabela 11. Comparação entre os resultados obtidos pela aplicação dos modelos de Rutter e Gash para estimativa de *I* em diferentes tipos de vegetação

Modelo Utilizado	Tipo de vegetação	<i>I</i> (mm)		Diferença		Autor
		medida	estimada	(mm)	(%)	
Rutter	<i>Pinus sylvestris</i>	245,0	263,0	18,0	7,4	Gash e Morton (1978)
Gash	<i>Pinus sylvestris</i>	245,0	257,0	12,0	4,9	Gash (1979)
Gash	<i>Pinus pinaster</i>	73,0	102,0	29,0	39,7	Gash <i>et al.</i> (1995)
Rutter	<i>Pinus pinaster</i>	153,8	198,5	44,7	29,1	Valente <i>et al.</i> (1997)
Gash	<i>Pinus pinaster</i>	153,8	216,2	62,4	40,6	Valente <i>et al.</i> (1997)
Gash	<i>Eucalyptus globulus</i>	100,8	145,0	44,2	43,8	Valente <i>et al.</i> (1997)
Rutter	<i>Eucalyptus globulus</i>	100,8	140,7	39,9	39,6	Valente <i>et al.</i> (1997)
Gash	Floresta tropical	118,0	101,0	17,0	14,4	Asdak <i>et al.</i> (1998)
Rutter	Floresta tropical	94,0	88,0	6,0	6,4	Asdak <i>et al.</i> (1998)
Gash	Floresta subtropical mista	174,0	182,6	8,6	4,9	Zhang <i>et al.</i> (2005)
Gash	Floresta tropical	247,97	290,78	42,8	17,3	Este estudo
Rutter	Floresta tropical	247,97	249,11	1,1	0,5	Este estudo

No presente estudo o modelo de Gash superestimou em 17,3% os valores medidos de *I* (290 mm estimado e 248 mm medido), sendo esse resultado melhor comparativamente do que três estudos apresentados por Gash *et al.* (1995) e Valente *et al.* (1997), porém os referidos trabalhos foram realizados em florestas de pinheiros (*Pinus pinaster*) e *eucalyptus globulus*. Entretanto, só o tipo de vegetação não explica os resultados, pois em outra pesquisa para *pinus sylvestris* (Gash, 1979) obteve um valor simulado apenas 4,9% superior ao medido.

O modelo de Gash, também produziu melhores estimativas de *I* em um estudo desenvolvido por Zhang *et al.* (2005) que resultou em superestimativa de apenas 4,9% para uma floresta subtropical mista na China.

Dos seis estudos escolhidos para a comparação com a FLONA de Caxiuanã, não coincidentemente, o modelo de Gash gerou o resultado mais próximo de uma floresta tropical na Indonésia, quando houve superestimativa de 14,4% do valor medido de I (Asdak *et al.*, 1998), esse resultado mostra que, possivelmente o modelo de Gash em florestas tropicais superestima em cerca de 15% os valores de I .

Quatro estudos foram escolhidos para a comparação dos resultados do modelo de Rutter. Um para *pinus sylvestris*, com superestimativa de 7,4% de I medida (Gash e Morton, 1978). Outro estudo foi para a vegetação de *pinus pinaster* com um valor estimado 29,1% maior que o medido (Valente *et al.*, 1997), nesse mesmo trabalho, porém para uma área com *eucalyptus globulus*, o modelo de Rutter superestima I em 39,6%.

Como era esperado, novamente o melhor resultado comparativo foi para uma floresta tropical na Indonésia (Asdak *et al.*, 1998) quando o modelo superestimou I em 6,4% do medido.

O modelo de Rutter aplicado na FLONA de Caxiuanã produziu superestimativa de apenas 0,5% da I medida, para o total acumulado em quarenta coletas semanais. Essa excelente simulação para o valor acumulado não significa que o modelo de Rutter produza estimativas tão boas quanto essa para todos os dados semanais, visto que houve uma superestimativa acentuada, chegando a mais que dobrar o valor medido durante o período de abril e maio, e entre agosto a meados de outubro quase igualou os valores, a partir de então passou a subestimar os valores medidos.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Baseado nos resultados obtidos a partir do experimento de campo realizado na FLONA de Caxiuanã, Pará, e na aplicação de modelos numéricos, foi concluído que:

1. Verificou-se que a *PI* é a mais importante componente do processo de interceptação em termos percentuais em relação à *P*.

2. Percentualmente, o *ESC* é considerado pequeno quando comparado ao valor da *PI*, porém é de grande importância. O *ESC* funciona como um eficiente mecanismo de distribuição de água ao redor dos troncos.

3. As correlações lineares obtidas entre a *P* e as componentes da interceptação, *PI*, *PE*, *ESC* e a própria *I*, apresentaram melhores resultados para o período seco do que para o período chuvoso. Isso foi devido à ocorrência de alguns eventos de chuva com grandes volumes, registrados em três coletas semanais, duas no início e uma no final do período seco.

4. Apesar da natural redução sofrida pela *PI* na variação sazonal, entre a época chuvosa e a seca, essa ainda é a fração da partição da chuva que mais contribuiu com a chegada de água no solo da floresta.

5. A importância do *ESC* na redistribuição da chuva na floresta tropical fica evidenciada na análise da sua sazonalidade. Apesar de ser uma pequena fração da *P*, na época chuvosa e seca, o *ESC* contribui com o fornecimento de água direcionada próximo às raízes, para a reposição de umidade no solo, principalmente no período seco.

6. A *I* permaneceu quase que na mesma magnitude durante todo o ano, porém, como a *P* no período seco sofre uma grande redução, a importância da *I* aumenta. Pois, um percentual muito maior da chuva que atingiu a parte superior da vegetação foi reciclado na forma de vapor para atmosfera, contribuindo para a manutenção do ciclo hidrológico que auxilia a floresta Amazônica a preservar suas características atuais.

7. É possível simular *I* para a região tropical da FLONA de Caxiuanã, com bom nível de eficiência, utilizando os modelos de Rutter e Gash. O modelo de Gash superestimou *I* para o período de março a dezembro de 2004. Porém, durante as quarenta coletas semanais realizadas, esse modelo acompanhou satisfatoriamente as variações de *I*, entretanto sofreu a influência de dois grandes volumes de chuva registrados nas coletas do final do período, que aumentaram a estimativa acumulada.

8. A aplicação do modelo de Rutter superestimou os valores medidos de *I* durante a maior parte do período analisado, entre março e setembro, passando a subestimar as medidas realizadas de outubro a dezembro de 2004. Os resultados medidos na FLONA de Caxiuanã estão em concordância com outros estudos realizados que aplicaram os modelos de Rutter e Gash para a estimativa de *I*.

Sugere-se a utilização de séries de dados com maior duração, para a aplicação da modelagem das estimativas de I , nessa e em outras áreas da Amazônia. Isso possibilitaria a montagem de um mosaico realista da atual situação da floresta tropical, no que se refere à sua capacidade de reciclar a chuva interceptada pela vegetação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, S.S.; Lisboa, P.L.B. e Silva, A.S.L. Diversidade florística de uma comunidade arbórea na Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, série botânica, Belém, v.9, n.1, p.99-105, 1993.
- Arcova, F.C.S.; Cicco, V. e Rocha, P.A.B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em uma microbacia experimental em Cunha - São Paulo. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.27, n.2, p.257-262, 2003.
- Asdak, C; Jarvis, P.G.; Gardingen, P.V. Modelling rainfall interception in unlogged and logged forest areas of Central Kalimantan, Indonesia. Hydrology and Earth System Sciences Discussions v.2, n. 2-3, p. 211–220, 1998.

- Castro, P.S.; Valente, O.F.; Coelho, D.T.; Ramalho, R.S. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. *Revista Árvore*. v. 7, n. 1, p. 76-89, 1983.
- Cohen, J.C.P. Mecanismo de propagação e estrutura das linhas de instabilidade da Amazônia. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 170 p. 1996.
- Cohen, J.C.P.; Dias, M.A.F.S. e Nobre, C.A. Environmental conditions associated with Amazonian squall lines: A case study. *Monthly weather review*. v. 123, n.11, p. 3163-3174, 1995.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Irrigation and drainage paper, nº. 56, home: <http://www.fao.org/>, acessado em 28/11/2006.
- Ferreira da Costa, R.; Costa, A.C.L. da; Meir, P.; Malhi, Y. ; Braga, A.P.; Gonçalves, P.H.L.; Silva Junior, J.A.; Sotta, E.D.; Vale, R.L.; Grace, J.; Fisher, R.A. Projeto LBA/Esecaflor em Caxiuanã: características, atividades e resultados. In: Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Belém, 2003.
- Ferreira, S.J.F.; Luizão, F.J.; Dallarosa, R.L.G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia central. *Acta Amazônica*. v.35, n.1, p.55-62, 2005.
- Figuerola, S.N. e Nobre, C.A. Precipitations distribution over central and western tropical south America. *Climanálise-boletim de monitoramento e análise climática*, v.5, n.6, pp. 36-48, 1990.
- Fisch, G.; Marengo, J.A.; Nobre, C.A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 28, n. 2, p. 101–126, 1998.
- Fisher, R.A. Understanding the response of rain forest to drought stress. PhD. Thesis, University of Edinburgh, School of Geosciences, 195 p, june 2005.

- Franken, W.; Leopoldo, P.R.; Matsui, E.; Ribeiro, M.N.G. Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo terra firme. *Acta Amazônica*. V.12, N.2, P.327-331, 1982a.
- Franken, W.; Leopoldo, P.R.; Matsui, E.; Ribeiro, M.N.G. Interceptações das precipitações em floresta Amazônica de terra firme. *Acta Amazônica*. v.12, Suplemento, p.15-22, 1982b.
- Gash, J.H.C. An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society*, vol. 105, n. 443, p. 43-55, 1979.
- Gash, J.H.C., Morton, A.J. An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from Thetford Forest. *Journal of Hydrology*, n. 38, p. 49-58, 1978.
- Gash, J.H.C.; Lloyd, C.R.; Lachaud, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, vol. 170, p.79 – 86, 1995.
- Gash, J.H.C.; Stewart, J.B. The evaporation from thetford forest during 1975. *Journal of Hydrology*, vol. 35(3/4) p.385 – 396, 1977.
- Gash, J.H.C.; Wright, I.R.; Lloyd, C.R. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great-Britain. *Journal of Hydrology*, vol. 48(1/2), p.89 – 105, 1980.
- Germer, S.; Elsenbeer, H.; Moraes, J.M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). *Hydrology and Earth System Sciences*. vol. 10, p. 383-393, 2006.
- Holwerda, F.; Scatena, F.N.; Bruijnzeel, L.A. Throughfall in a Puerto Rican lower montane rain forest: A comparison of sampling strategies. *Journal of Hydrology*, vol. 327, p. 592–602, 2006.
- Horton, R. E. Rainfall interception. *Monthly Weather Review*, vol. 47, n. 9, p. 603-623, 1919.

- Huber, A.; Iroumé, A. variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology*, v. 248, p. 78-92, 2001.
- Huber, A.J. e Oyarzún, C.E. Precipitacion neta e intercepcion en un bosque adulto de *Pinus Radiata* (D. Don). *Bosque*, vol. 5, p.13-20, 1983.
- Huber, A.J. e Oyarzún, C.E. Redistribución de las precipitaciones en un bosque siempreverde del sur de Chile. *Turrialba*, v.42, p. 192-9, 1992.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, Diretoria de Florestas Nacionais – DIREF, 2004, www.ibama.gov.br, acessado em 31/01/2007.
- Jackson, I. J.: Problems of throughfall and interception assessment under tropical forest, *Journal of Hydrology*, v.12, p. 234–254, 1971.
- Johnson, R. G. The interception, throughfall and stemflow in a forest in Highland Scotland and the comparison with other upland forests in the U.K. *Journal of Hydrology. (Amst)*, v.118, p.281-7, 1990.
- Kern, D.C. e Costa, M.L. Os solos antrópicos. In: P.L.B. Lisboa (org.). *Caxiuanã*. Belém Pará, p. 105-119, 1997.
- Leopoldo, P. R. Aspectos hidrológicos de floresta Amazônica densa na região de Manaus: repartição da chuva e respectivas composições em isótopos estáveis. Tese (Livre - Docência) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu-SP, 1981. 111p.
- Leopoldo, P.R.; Franken, W.; Salati, E.; Ribeiro, M.N.G. Towards A water balance in the central Amazonian region. *experientia.*, v.43, n.3, p.222-233, 1987.

- Lima, P.R.A. e 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.25-33, 1999.
- Lima, P.R.A. Retenção de água de chuva por mata ciliar na região central do Estado de São Paulo. Dissertação de mestrado da Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu – SP, 1998.
- Lima, W.P e Nicolielo, N. Precipitação efetiva e a interceptação em florestas de Pinheiros tropicais e em uma reserva de cerrado. *Revista IPEF*, n.24, p.43-46, ago, 1983.
- Lima, W.P. Princípios de hidrologia florestal para o manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: Departamento de silvicultura da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 242p. (Mimeogr.), 1986.
- Lisboa, P.L.B. Estação Científica Ferreira Penna / ECFPn. Caxiuanã. Museu Goeldi. Belém – Pa. P.40 – 41, Belém, 1997.
- Lloyd, C.R. e Marques Filho, A.O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agric. For. Meteorol.*, v.42, p.63-73, 1988.
- Marengo, J.A. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal Of Climatology*, V.12, Pp.853-863, 1992.
- Marques, J. A transferência horizontal de vapor d’água na troposfera e a hidrologia da bacia Amazônica. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ / USP. Piracicaba, 1978.
- Marques, J., Salati, E., Santos, J.M. Cálculo da evapotranspiração real na Bacia Amazônica através do método aerológico. *Acta Amazônica*, v.10, n. 2, p. 357-361, 1980.
- Marques, J.; Santos, J.M. ; Salati, E. O armazenamento atmosférico de vapor d’água sobre a Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 9, n.4, pp. 715-721, 1979b.

- Marques, J.; Santos, J.M. ; Salati, E. O campo do fluxo de vapor d'água atmosférico sobre a Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 9, n. 4, pp. 701-713, 1979a.
- Meir, P; Costa, A.C.L. ; Ferreira da Costa, R.; Silva Júnior, J.A.; Ruivo, M.L.P.; Costa, J.M.N.; Malhi, Y.; Grace,J; Sotta, E.D.; Vale, R.L. Effects of experimental drought on carbon cycling in an eastern Amazonia. In: Seventh LBA-ECO Science Team Business Meeting. Results of Ecological Studies of The Large Scala Biosphere-Atmosphere Experiment In Amazonia (LBA), Fortaleza, 2003.
- Molion, L.C.B. Amazônia rainfall and its variability. In: Bonell, M. Hufschmidt, M.M.; Gladwell, J.S. (eds). *Hydrology and water management the humid tropics*. International Hydrology Series, Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, p. 99-111, 1993.
- Molion, L.C.B. Climatologia dinâmica da região Amazônica: Mecanismos de precipitação *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.2, n.1, p. 107-117, 1987.
- Molion, L.C.B.; Dallarosa, R.L.G. Pluviometria da Amazônia: São os dados confiáveis? *Climanálise – Boletim de Monitoramento e análise climática*, v.5, n.3, p. 40-42, 1990.
- Monteith, J.L., Evaporation and environment. En; *Simposium of the society for experimental biology*, 6, Swansea, 1964., Cambridge: Cambridge University Press, p. 205-234, 1965.
- Moraes, J.C.; Costa, J.P.R.; Rocha, E.J.P. E Silva, I.M.O. Estudos Hidrometeorológicos na Bacia do Rio Caxiuanã. In: Lisboa, P. L. B. (Org). *Cnpq/Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém, p.85-95, 1997.
- Nobre, C.A.; Sellers, P.J.; Shukla, J. Amazonian deforestation and regional change. *Journal of Climate*, v.4, p.957-988, 1991.

- Nobre, P., e Shukla, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and south America. *Journal of Climate*, vol. 9, pp. 2464-2479, 1996.
- Oliveira Júnior, J.C., e Dias, H.C.T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata Atlântica. *Revista Árvore*, Viçosa-Mg, v.29, n.1, p. 9-15, 2005.
- Price, N.W. A comparison of water balance components in natural and plantation forests in El Salvador, central America. *Turrialba*, v.32, p.399- 416, 1982.
- Ruivo, M.L.P.; Pereira, S. B.; Bussetti, E.P.C.; Ferreira Da Costa, R.; Quanz, B.; Nagaishi, T.Y.; Oliveira, P.J.; Meir, P.; Malhi, Y.; Costa, A.C.L. Grace, J. Propriedades do solo e fluxos de CO₂ em caxiuanã, Pará: experimento LBA-ESECAFLOR. in. *contribuições a geologia da Amazonia*, v.3, p291-299. (CGA-3), Sociedade Brasileira de Geologia, Belém, ISBN: 95-88692-02-3, 2002.
- Rutter, A.J., Kershaw, K.A., Robins, P.C., Morton, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests, I derivation of the model from observations in a plantation of Corsican pine. *Agriculture Meteorology*, 9, p. 367-384, 1971.
- Rutter, A.J., Morton, A.J. A predictive model of rainfall interception in forests, III sensitivity of the model to stand parameters and meteorological variables. *Journal of Applied Ecology*, v.14, n.2, p.567-588. 1977.
- Rutter, A.J., Morton, A.J., Robins, P.C. A predictive model of rainfall interception in forests, II generalization of the model and comparison with observations in some coniferous and hardwood stands. *Journal of Applied Ecology*, v. 12, n. 1, p.367-380. 1975.
- Salati, E. e Vose, P. B. Amazon Basin: a system in equilibrium. *Science*, v. 225, n.4658, p. 129-138, 1984.

- Salati, E.; Dall'Olio, A.; Matsui, E.; Gat, J.R. Recycling of water in the Amazon basin: an isotopic study. *Water Resource Research*, v.15, n.5, p.1250-1258, 1979.
- Schubart, H.O.R.; Franken, W.; Luizão, F.J. Uma floresta sobre solos pobres. *Ciência hoje*. v.2, n.10, p.26-32, 1984.
- Silva Dias, M.A.F.; Rutledge, S.; Kabat, P.; Silva Dias, P. L.; Nobre, C.; Fisch, G.; Dolman, A. J.; Zipser, E.; M. Garstang; A. O. Manzi; J. D. Fuentes; H. R. Rocha; J. Marengo; A. Plana-Fattori; L. D. A. Sá; R. C. S. Alvalá; M. O. Andreae; P. Artaxo; R. Gielow; L. Gatti. Clouds and rain processes in a biosphere atmosphere interaction context in the Amazon Region. *Journal of Geophysical Research* v.107, D20, 8072, doi:10.1029/2001JD000335, 2002.
- Silva, A.S.L.; Almeida, S.S.; Rosário, C.S. Flórula fanerogâmica da Estação Científica Ferreira Penna (ECFPN): Caracterização dos ecossistemas e lista preliminar de espécies. In: Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Belém, 2003.
- Singh, R.P. Rainfall interception by *pinus wallichiana* plantation in temperate region of Himachal Pradesh, India. *Indian For.*, p.559-66, 1987.
- Souza Filho, J.D.C.; Ribeiro, A.; Costa, M.H.; Cohen, J.C.P. Mecanismo de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 35(2), p. 223-229, 2005.
- Souza, E.P.P. Relações entre as anomalias de TSM do Atlântico e Pacífico e as precipitações na Amazônia oriental. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, São José dos Campos, SP (INPE-11435 - TDI/955), 78p, 2003.

- Souza, J.R.S.; Rocha, E.J.P.; Cohen, J.C.P. Avaliação dos impactos antropogênicos no ciclo da água na Amazônia. Capítulo 4. In: Aragon L.E.; Clüsener-Godt. (Org.). Problemática do uso local e global da água da Amazônia. Organizadores: L.E. Aragon E M. Clüsener-Godt. Brasília - DF: Edições UNESCO-Brasil, p. 69-94, 2003.
- Souza, P.F.S. Variabilidade espacial e temporal das componentes atmosféricas do ciclo hidrológico da Amazônia durante o experimento meteorológico GTE/ABLE-2b. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, São José dos Campos, SP (INPE-5281 - TDI/451), 82p, 1991.
- Szeicz, G., Long, I.F. Surface resistance of crop canopies. *Water Resources Research*, v. 5, n. 2, p. 622-633, 1969.
- Tucci, C.E.M. Hidrologia ciência e aplicação. In: Tucci, C.E.M. Hidrologia ciência e aplicação. 3ª.Ed. Porto Alegre, editora da universidade, ABRH, v.3, p.36-37, 2004.
- Ubarana, V.N. Experimentos observacionais e modelagem das perdas por interceptação da precipitação na floresta Amazônica. Dissertação de mestrado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE, São José dos Campos (INPE – 5583 - TDI/545), 93p, 1994.
- Ubarana, V.N. Observation and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazonia. *Amazonian deforestation and climate*. p.151-162, 1996.
- Valente F.; David, J.S.; Gash, J.H.C. Modelling interception loss for two sparse eucalypt and pine forest in central Portugal using reformulated Rutter and Gash analytical models. *Journal of Hydrology*, n190, p141-162, 1997.
- Valente, F. M. R. T. Interceptação da precipitação por cobertos arbóreos: As condicionantes físicas e a modelação do processo, trabalho a que se refere a alínea B. do nº 2 do art.58 do estatuto da carreira docente universitária. Lisboa, Universidade Técnica de Lisboa, 1990.

Viana, J. S.; Almeida, S. S.; Conceição, C.; Ferreira, E.; Alves, N.E Silva, R. Comparação estrutural e florística entre os ambientes de terra-firme e igapó do entorno da Estação Científica Ferreira Penna – ECFPn. In: Seminário de 10 anos de atividades da Estação Científica Ferreira Penna, Caxiuanã, Pará. Belém, 2003.

Villela, S. M. e Mattos, A. Hidrologia Aplicada. McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 245 p. 1975.

Zhang, G.; Zeng, G. M.; Jiang, Y. M.; Huang, G. H.; Li, J. B.; Yao, J. M.; Tan, W; Xiang, R. J.; Zhang, X. L. Modeling and measurement of two-layer-canopy interception losses in a subtropical mixed forest of central-south China. Hydrology and Earth System Sciences Discussions v.2, p. 1995–2024, 2005.