

5

Análise do modelo da U.I.T.-R P. 837-4

5.1.

Modelo Salonen-Baptista

Atualmente, o caminho adotado para se caracterizar globalmente as distribuições estatísticas de precipitação para aplicações em telecomunicações parte dos dados meteorológicos existentes em todo o globo [3]. Esta alternativa foi utilizada inicialmente pelo modelo de Rice-Holmberg [59] e posteriormente pelo método de Salonen-Baptista [42], sendo atualmente adotada pela Rec. U.I.T.-R P.837-4 [12].

Os valores recomendados pelo método de Salonen- Baptista se basearam em informações meteorológicas, com integração de 6 h, de dois bancos de dados: ECMWF (“*European Center for Médium-Range Weather Forecasts*”), com 15 anos de medidas, e o GPCP (“*Global Precipitation Climate Project*”), com medidas entre 1987 e 1996.

Os dados meteorológicos necessários ao cálculo deste modelo são:

- a) Acumulado anual de chuva convectiva (M_c) em mm;
- b) Acumulado anual de chuva estratiforme (M_s) em mm;
- c) Percentagem de chuva em 6 horas (P_{R6}) em %.

A Agência Espacial Européia (ESA – *European Space Agency*) estruturou e disponibilizou, através do site da Comissão de Estudos 3 do UIT-R [60], um banco de dados com cobertura mundial que contém os dados necessários à execução do modelo, variando de acordo com a latitude e longitude desejada, conforme será visto a seguir. Cabe ressaltar que, segundo os autores, foram testados vários limites para separar a chuva convectiva da chuva do tipo estratiforme, sendo o valor de 6 mm em 6h o que mais se ajustou para os dados analisados [61]. Assim, tendo-se os dados meteorológicos e de acordo com este modelo, a probabilidade de uma determinada taxa de chuva, R_0 (mm/h), ser excedida será dada por:

$$P(R \geq R_0) = P_0 \cdot \exp\left(-aR_0 \frac{(1+b.R_0)}{(1+c.R_0)}\right) \quad (5.1)$$

onde $a = 1,11$ (5.2)

$$b = \frac{M_C + M_S}{22932.P_0} \quad (5.3)$$

$$c = 31,5 b \quad (5.4)$$

$$P_0 = P_{R6} \left(1 - \exp\left(-0,0117 \left(\frac{M_S}{P_{R6}}\right)\right)\right) \quad (5.5)$$

O valor da taxa cumulativa (R) em função da percentagem de tempo (P) também pode ser obtida através de uma fórmula analítica, assim para $P < P_0$:

$$R(P) = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (5.6)$$

onde $A = ab$, $B = a + c \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$ e $C = \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$.

5.2.

Comparação de resultados entre o modelo da Recomendação U.I.T-R P.837-4 e medidas na região em estudo

A primeira comparação realizada com os dados medidos foi feita pela utilização do modelo matemático proposto pela U.I.T em conjunto com os dados meteorológicos referenciados na Recomendação em questão [12]. Os três dados meteorológicos necessários ao cálculo são disponibilizados através de três matrizes de dimensão 180 por 360 [60]. Cada elemento destas matrizes (i,j) fornece um parâmetro meteorológico de um ponto de latitude ($-90^0 + i$) e longitude ($-180^0 + j$). Os dados de pontos intermediários são retirados através de interpolações lineares entre os quatro elementos mais próximos existente na matriz.

De uma forma geral as distribuições levantadas através deste modelo apresentaram erros elevados quando comparadas com as medidas realizadas na região. A tabela 16 apresenta as estatísticas dos erros relativos encontrados na comparação entre o modelo e as medidas, para percentagens de tempo variando entre 0,001% e 1%. Visualmente, esta comparação é mostrada nas figuras 37 a 44.

Sítio de Medição	Erro Relativo Máximo (%)	Erro Relativo Médio (%)	Desvio Padrão (%)	Erro RMS (%)
Belém	32,5	20,1	9,3	22,2
Boa Vista	194,1	46,7	47,2	66,4
Cruzeiro do Sul	67,0	47,9	14,1	49,9
Macapá	33,9	19,8	6,1	20,7
Manaus	92,2	35,3	20,5	40,9
Santarém	39,6	22,3	11,8	25,3
São Gabriel Cachoeira	35,0	18,5	12,5	22,3
Tabatinga	63,4	37,5	19,5	42,3

Tabela 16 Valores dos erros relativos encontrados na comparação do modelo da Recomendação U.I.T.-R P. 837-4 com as medidas realizadas em cada sítio.

A título de informação, vale citar que uma comparação entre medidas realizadas na Colômbia e o modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4 foi publicado recentemente [62], onde apenas a percentagem de 0,01% foi analisada. Diferenças significativas também foram observadas entre as medidas e os valores previstos pelo modelo.

Os erros observados na comparação com as medidas podem estar associados a duas causas: formulação matemática do modelo ou os dados meteorológicos fornecidos pelas matrizes.

Nos próximos itens, serão realizadas análises para tentar propor mudanças no modelo de referência da U.I.T de forma a se tentar melhorar o desempenho do mesmo na região analisada. As mudanças serão propostas em relação às duas causas de erro relatadas no parágrafo anterior.

5.3.

Proposta de alteração do modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4

5.3.1.

Análise de novos parâmetros meteorológicos para o modelo

O primeiro esforço realizado para melhorar o desempenho do modelo para região foi feito na atualização dos dados meteorológicos das matrizes através das medidas anuais realizadas. Dois dos parâmetros meteorológicos necessários puderam ser determinados diretamente dos dados coletados no pluviógrafo, isto é, o acumulado anual total de chuva em mm, $M_T = M_C + M_S$, e a percentagem de chuva em 6 horas medida em %, P_{R6} . O terceiro parâmetro necessário é o acumulado anual de chuva estratiforme (M_S). Para determinação deste parâmetro torna-se necessário determinar o patamar de separação adotado entre a chuva convectiva e a chuva estratiforme.

Como mencionado anteriormente [61], o valor de 6mm em 6 horas foi o escolhido, pelo modelo de Salonen-Baptista, para separação entre a chuva convectiva e estratiforme. Assim o primeiro conjunto de parâmetros meteorológicos foi determinado diretamente das medidas obtidas pelos pluviógrafos utilizando o valor de 6mm em 6 horas para separação entre chuva convectiva e estratiforme. A utilização deste critério não possibilitou a melhora desejada. Procurou-se, então, verificar qual o valor de taxa de precipitação, integrada em 6 horas, que deveria ser utilizada na separação entre chuva estratiforme e convectiva para melhor ajustar o modelo às medidas realizadas.

Para se atingir este objetivo, o ideal era dispor de pelo menos duas distribuições anuais para cada sítio de medição. Apesar de não haver tal disponibilidade, foram utilizadas todos os meses de medição existentes. Observou-se que, em alguns sítios, o conjunto de meses de medidas, embora menores do que 24, permitiu definir duas distribuições anuais distintas para a localidade, vide capítulo 4. Assim trabalhou-se com duas distribuições anuais para cada sítio, uma composta com os doze primeiros meses e a outra com os doze últimos meses. Outras combinações foram testadas entretanto esta foi a que apresentou melhores resultados.

O primeiro aspecto que foi observado é que para o melhor ajuste com medidas locais foram encontrados valores diferentes de taxa de precipitação.

Mesmo para mesma localidade, valores diferentes, em alguns sítios, foram encontrados para as duas distribuições analisadas. Isso mostra que, apesar da simplicidade e da praticidade, a separação baseada apenas no valor da taxa de precipitação introduz um certo grau de erro, como comentado no capítulo 2 deste trabalho.

Para os sítios de Manaus e Macapá o valor correspondente ao melhor desempenho foi o de 10 mm em 6 horas. Para os demais sítios resultou o valor de 15 mm em 6 horas. Utilizando estes valores de separação, obtêm-se os parâmetros meteorológicos que resultam no melhor ajuste quando utilizados no modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4, em substituição aos disponíveis nas matrizes fornecidas. Estes parâmetros são mostrados na tabela 17.

Sítio de Medição	Acumulado Anual de Chuva Convectiva (mm)	Acumulado Anual de Chuva Estratiforme (mm)	Prob. de Chuva em 6 h (%)
Belém	2072,1	1011,3	34,8
Boa Vista	369,7	235,3	13,4
Cruzeiro do Sul	1626,4	875,7	33,9
Macapá	1347,1	822,2	27,1
Manaus	1074,7	531,8	21,4
Santarém	1931,3	917,2	28,9
São Gabriel Cachoeira	2029,5	1270,5	40,2
Tabatinga	1827,9	1134,7	32,0

Tabela 17 Valores de dados meteorológicos, necessários ao cálculo do modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4, que apresentaram o melhor desempenho na comparação com medidas locais.

A tabela 18 apresenta as estatísticas dos erros relativos encontrados com os novos valores de parâmetros meteorológicos apresentados na tabela 17 para taxas de precipitação que se encontram entre a percentagem de tempo de 0,001% e 1%.

Comparando as tabelas 16 e 18 verifica-se que houve uma melhora considerável. Observa-se que, exceto no sítio de Boa Vista, os erros relativos médios estão abaixo de 10% . O caso de Boa Vista foi analisado no item 4.5 que trata da variabilidade da distribuição anual de precipitação. O maior erro relativo neste sítio está relacionado ao fato que as duas distribuições anuais analisadas apresentaram comportamentos bastante diferentes.

Sítio de Medição	Erro Relativo Máximo (%)	Erro Relativo Médio (%)	Desvio Padrão (%)	Erro RMS (%)
Belém	24,6	9,9	5,7	11,1
Boa Vista	39,4	19,3	9,3	21,4
Cruzeiro do Sul	16,7	7,4	5,1	9,0
Macapá	28,3	6,9	6,3	9,4
Manaus	32,6	7,6	5,2	9,2
Santarém	14,3	6,6	4,1	7,8
São Gabriel Cachoeira	17,3	7,6	4,0	8,5
Tabatinga	18,9	8,0	5,2	9,5

Tabela 18 Valores dos erros relativos encontrados na comparação do modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4, empregando novos parâmetros meteorológicos com as medidas realizadas em cada sítio.

As figuras de 37 a 44 apresentam a comparação entre o modelo U.I.T com novos parâmetros meteorológicos da tabela 17 e as medidas realizadas em cada local.

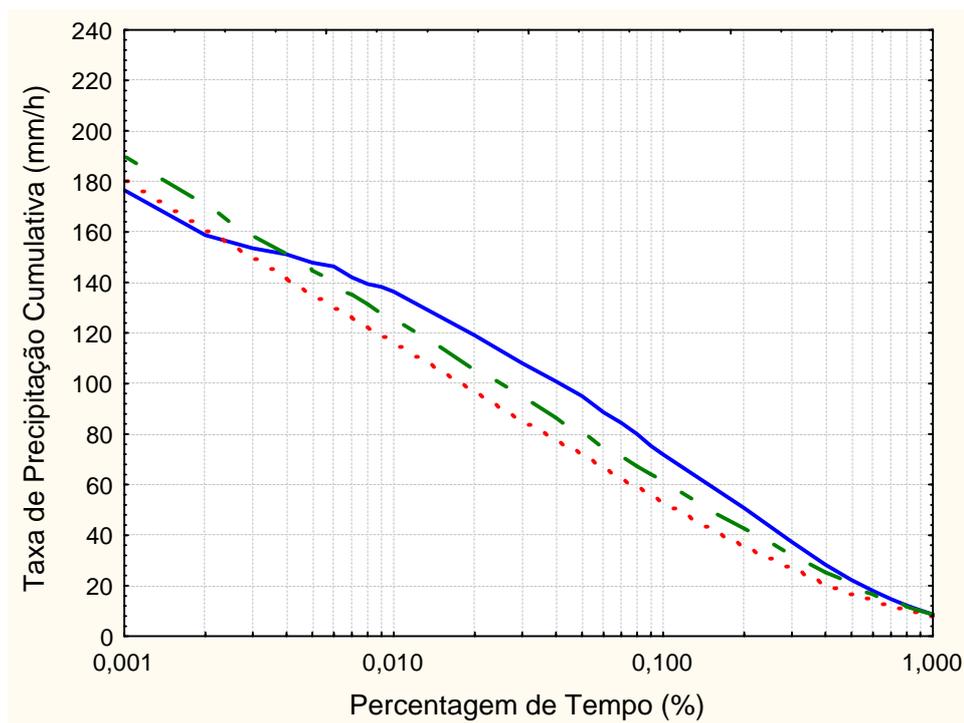


Figura 37 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) (¾ - ¾) e medida em Belém (¾).

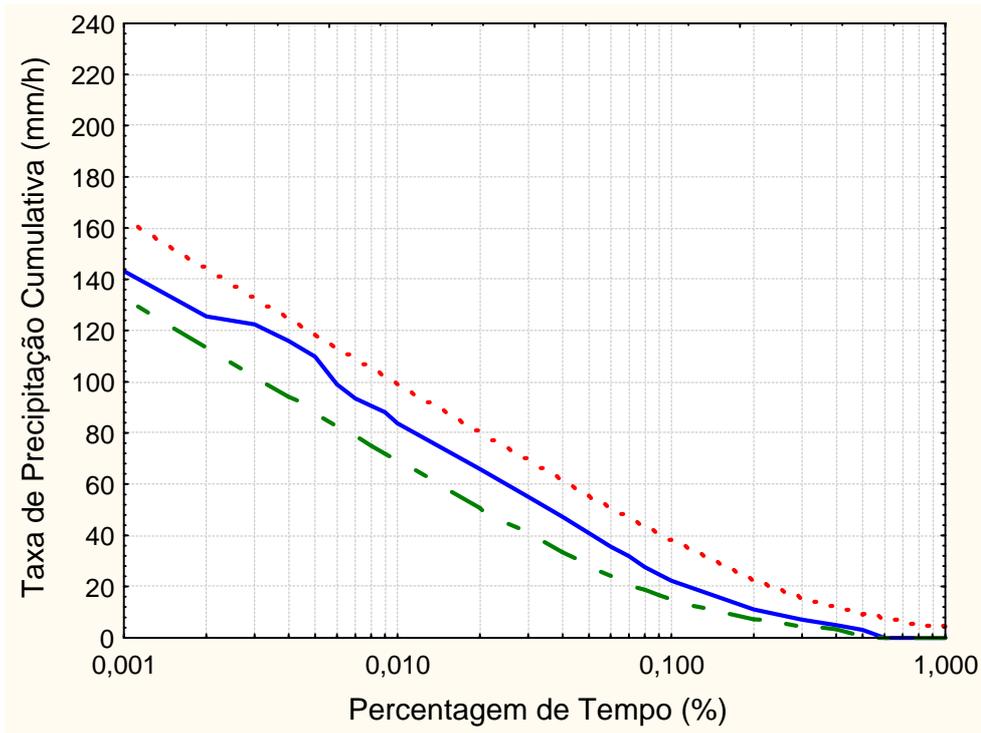


Figura 38 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) (3/4 - 3/4) e medida em Boa Vista (3/4).

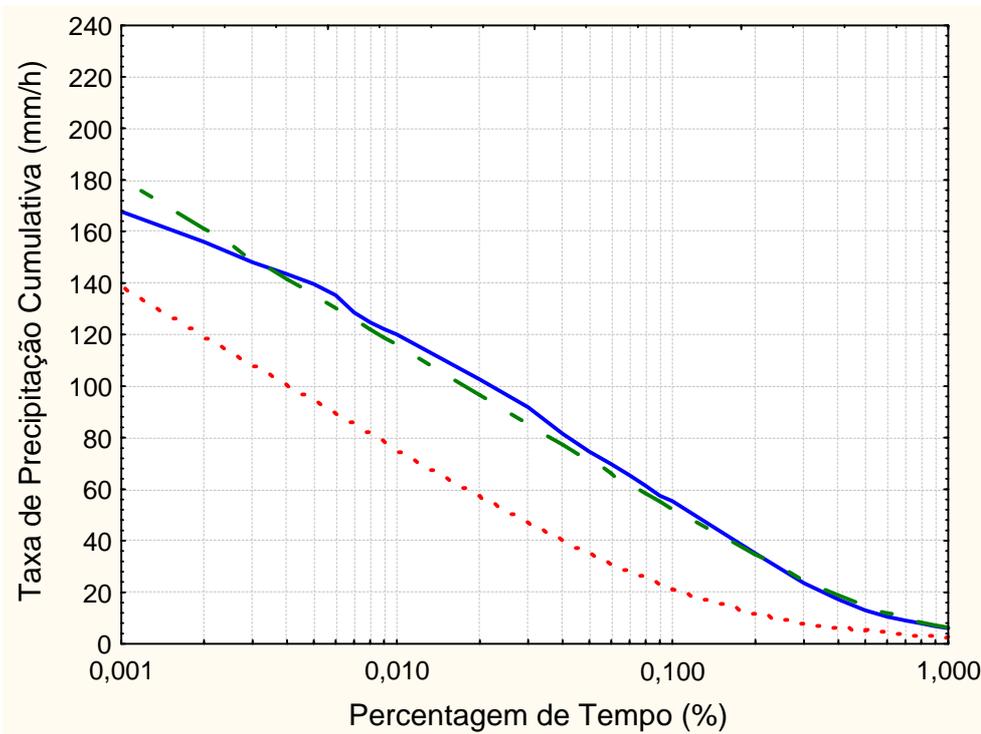


Figura 39 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) (3/4 - 3/4) e medida em Cruzeiro do Sul (3/4).

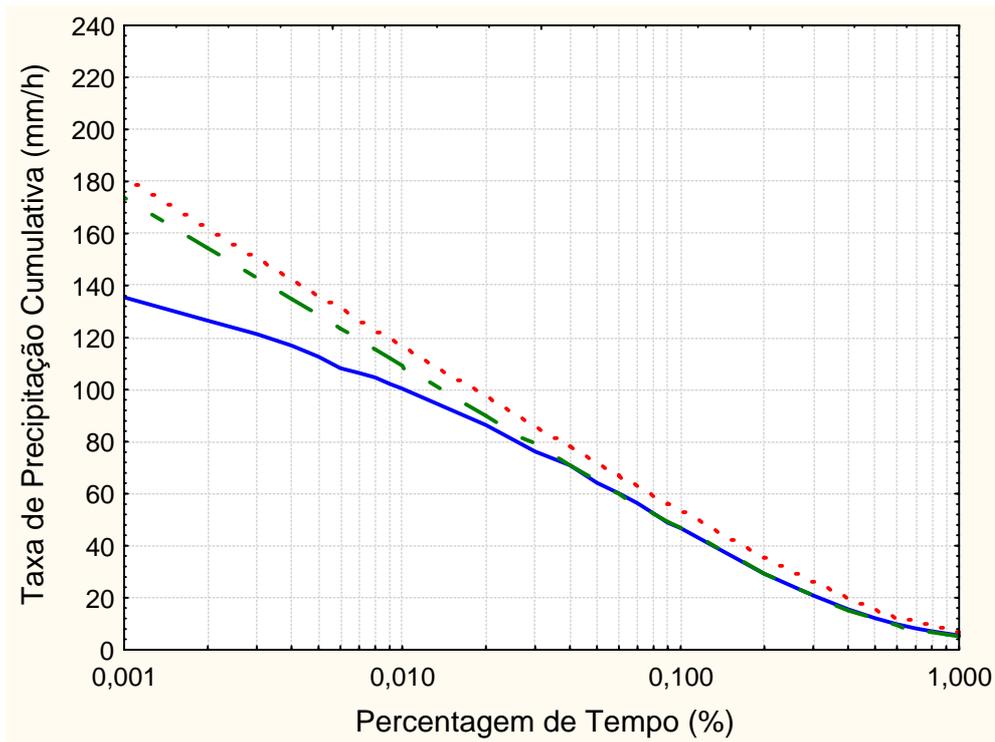


Figura 40 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) ($\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{4}$) e medida em Macapá ($\frac{3}{4}$).

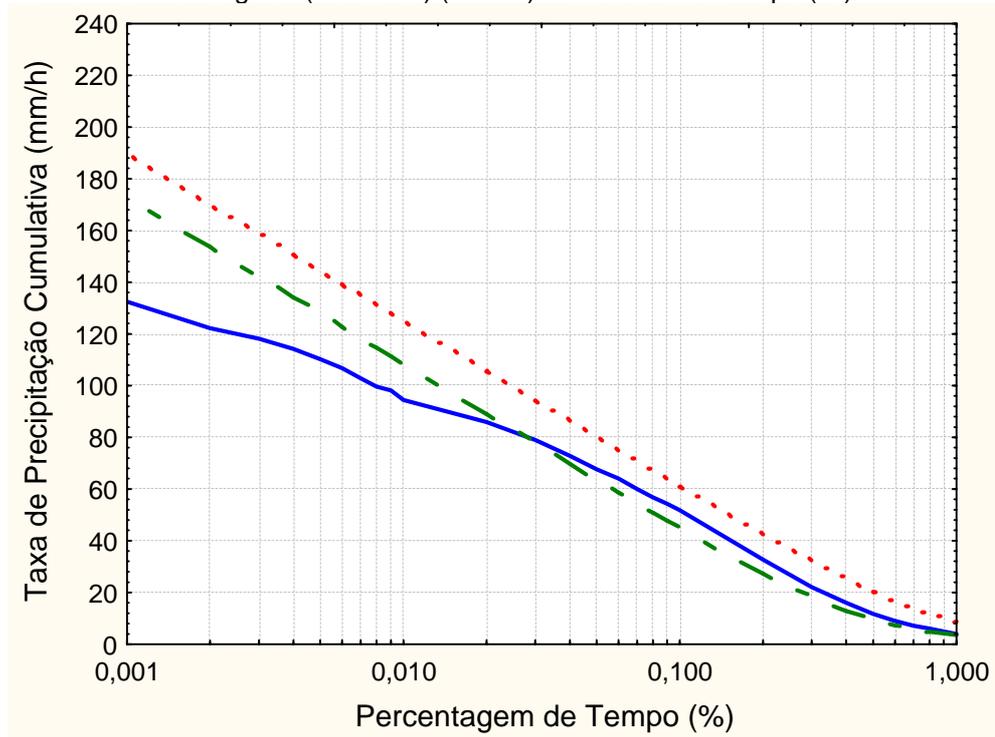


Figura 41 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) ($\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{4}$) e medida em Manaus ($\frac{3}{4}$).

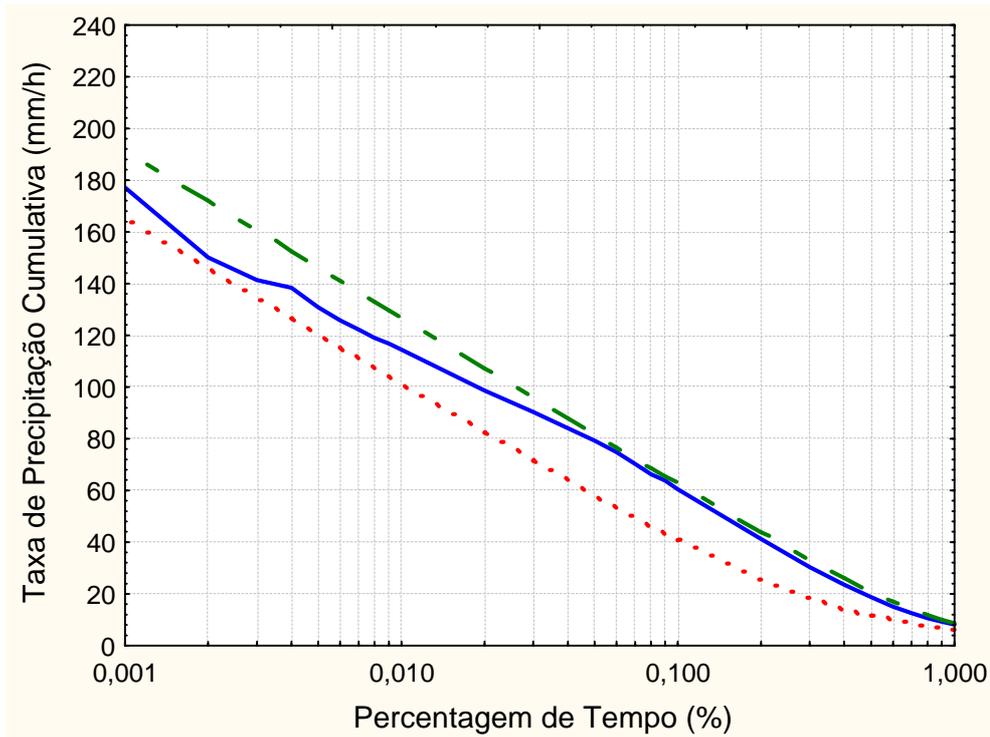


Figura 42 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) ($\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{4}$) e medida em Santarém ($\frac{3}{4}$).

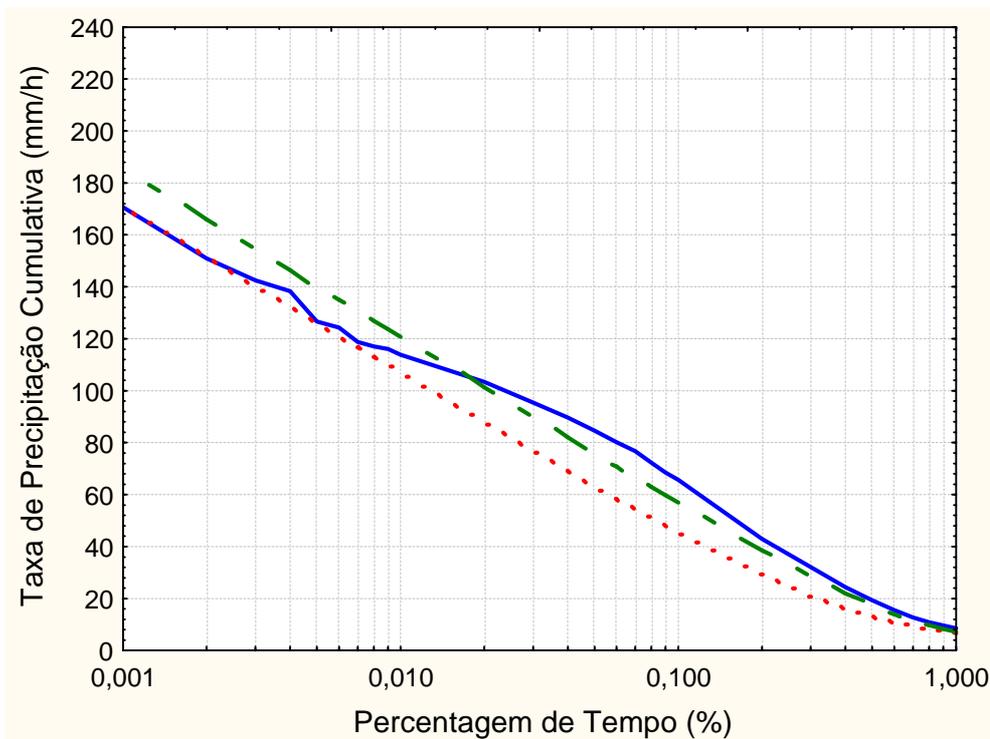


Figura 43 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) ($\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{4}$) e medida em São Gabriel da Cachoeira ($\frac{3}{4}$).

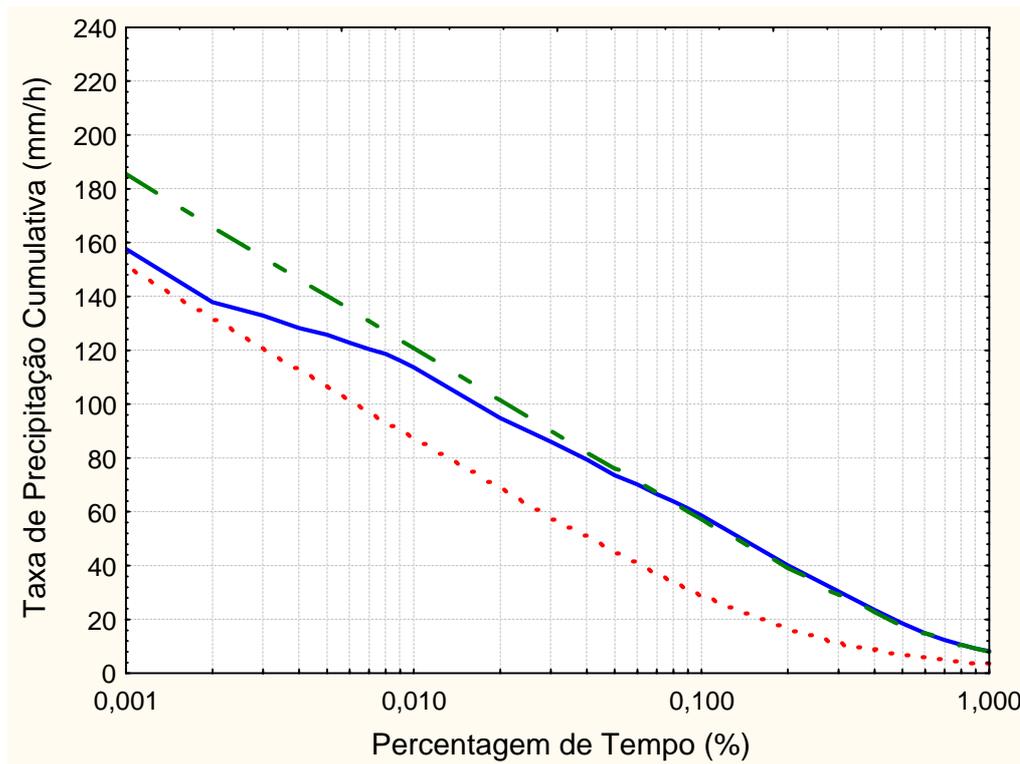


Figura 44 Comparação entre modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com parâmetros meteorológicos do modelo (- - -), modelo da Rec. U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 17) (—) e medida em Tabatinga (· · ·).

5.3.2.

Análise de uma nova formulação para o modelo

No item anterior foi apresentada a melhora do desempenho do modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4 apenas com a alteração dos parâmetros meteorológicos utilizados no mesmo. Apesar dos resultados satisfatórios, pode se supor que uma melhora ainda maior de desempenho poderia ser obtida com a alteração da formulação matemática do modelo, isto é, alteração das equações que determinam os valores de “a”, “b”, “c” e “P₀”, em (5.2) a (5.5).

A tabela 7 no item 4.2.1 apresenta as estatísticas dos erros relativos encontrados para o melhor ajuste das medidas com a função definida por Salonen-Baptista. Observa-se nesta tabela um patamar mínimo de erro relativo. Em outras palavras, com este tipo de função não se é possível obter erros relativos menores do que os valores da tabela 7. O principal causador deste patamar de erro é o problema da função de Salonen-Baptista nas percentagens de tempo menores do que 0,004%, fato analisado no item 4.2.1. É claro que na determinação dos valores de parâmetros utilizados neste ajuste não houve preocupação em se estabelecer uma relação com os dados meteorológicos, conforme comentado anteriormente.

Porém, mesmo que não se atinja os valores ótimos da tabela 7, valores próximos a estes podem ser buscados. Uma comparação entre as tabelas 7 e 18 mostra que a diferença não é tão significativa. Mesmo assim, uma mudança no equacionamento do modelo, como por exemplo uma alteração na inclinação da função, poderia melhorar o desempenho do mesmo em alguns sítios. A figura 45 apresenta uma comparação entre a curva do modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4 com os parâmetros meteorológicos da tabela 17 e a curva determinada através do ajuste do item 4.2.1. para cidade de Macapá.

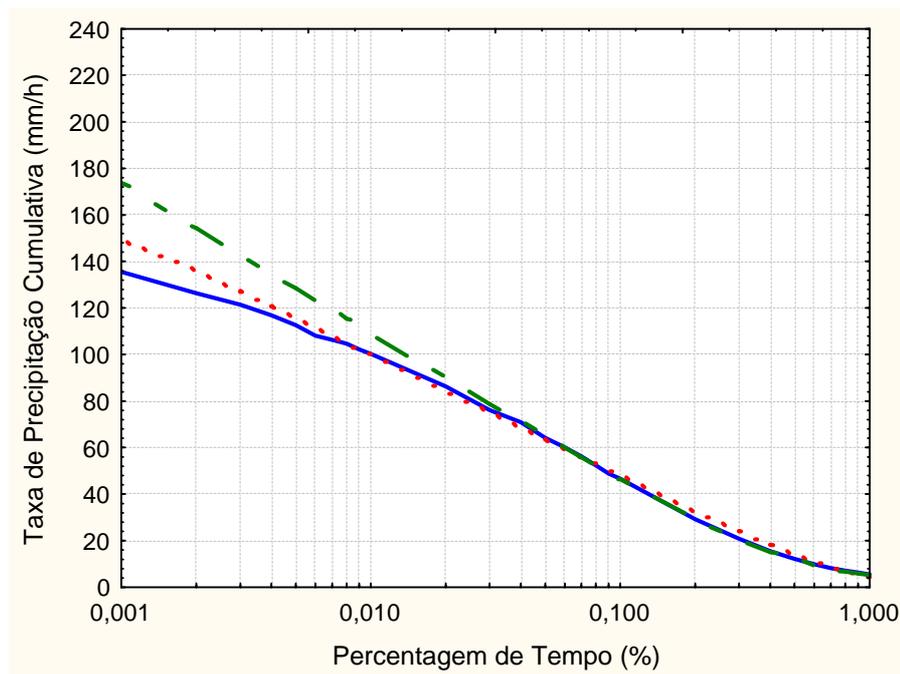


Figura 45 Comparação entre melhor ajuste da função Salonen-Baptista (- - -), modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4 com novos parâmetros meteorológicos (tabela 18) (---) e medida em Macapá (—).

Esta figura mostra um exemplo de que como ainda existe espaço para uma melhora do equacionamento do modelo. Cabe ressaltar que em outros sítios a melhora não é tão nítida como o observado nesta localidade. Desta forma, buscou-se determinar novas equações para a determinação dos parâmetros utilizados no modelo através das medidas obtidas na região Amazônica. Inicialmente procurou-se encontrar, em cada sítio, uma correlação entre o ajuste ótimo e os parâmetros meteorológicos. Como os valores ótimos de cada sítios foram muito diferentes, não foi possível encontrar esta correlação. Assim, em um segundo momento, foi mantido o equacionamento matemático proposto pelo modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4 e proposta uma atualização dos valores numéricos envolvidos

nas equações (5.2) a (5.5), as quais envolvem as constantes 1,11 ; 31,5 ; 0,0017 e 22.932.

Em todos os ajustes realizados através do programa “Statistica” , com base nos dados fornecidos pelas medições, não foi possível obter um conjunto de novos valores numéricos, em substituição aos definidos no modelo, que justificassem o procedimento.

O primeiro aspecto verificado foi que, relativamente aos erros apresentados na tabela 18, a variação dos valores numéricos trazia melhoria, em alguns sítios, porém degradava em relação a outros. Não compensando, portanto, uma alteração dos valores. O segundo fato observado foi que mantendo fixos três dos quatro valores do modelo e buscando o melhor valor para o quarto parâmetro, observou-se uma grande proximidade com os valores já definidos. Em outras palavras, de uma forma geral, na média, os valores definidos pelo modelo são bastante próximos aos observados durante o ajuste, não compensando também a sua alteração.

A tabela 19 apresenta os valores numéricos encontrados no ajuste de um parâmetro mantendo os três restantes no valor proposto pelo modelo. A linha designada por geral corresponde ao ajuste de todos os sítios simultaneamente e a linha designada por média corresponde à média dos valores que se obtém fazendo o ajuste individual em cada sítio.

Sítio de Medição	Num 1	Num 2	Num 3	Num 4
Modelo U.I.T. 837-4	1,11	0,0117	31,5	22.932
Geral	1,12	0,0120	31,1	23.249
Belém	1,11	0,0115	31,7	22.823
Boa Vista	1,13	0,0099	31,2	23.519
Cruzeiro do Sul	1,12	0,0128	30,9	23.411
Macapá	1,08	0,0107	32,3	22.141
Manaus	1,06	0,0114	33,8	21.208
Santarém	1,10	0,0112	31,8	22.677
São Gabriel Cachoeira	1,10	0,0114	31,7	22.757
Tabatinga	1,08	0,0102	32,6	23.519
Média	1,10	0,0114	32,0	22.566

Tabela 19 Valores numéricos ajustados para serem utilizados no equacionamento do modelo da Recomendação U.I.T.-R P. 837-4 (equação 5.2 a 5.5).

Concluindo, não foi possível propor uma alteração do equacionamento matemático do modelo Recomendação U.I.T.-R P.837-4 para região Amazônica. Ficou caracterizado que, apesar de alguns desvios, os valores atuais se aproximam muito do comportamento médio encontrado. Desta forma, a proposta de atualização do modelo em questão será apenas no que se refere à alteração dos valores dos parâmetros meteorológicos disponíveis para região de estudo. No item 5.5 serão propostos novos valores para tais parâmetros.

5.4.

Análise de novas medidas para proposta de atualização do modelo da Recomendação U.I.T-R P.837-4

No intuito de melhorar o desempenho da U.I.T na região analisada, foi feito um levantamento de um número maior de pontos da região com informações meteorológicas que pudessem servir de base para a atualização dos parâmetros meteorológicos. Nesta linha, foram obtidas informações provenientes das plataformas de coleta de dados (PCD's) do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos) do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) em 28 localidades dentro da região analisada. Foram considerados também, como complemento do trabalho, pontos próximos à região Amazônica, nos estados de Maranhão e Tocantins, que apresentam comportamento climático distinto do clima equatorial. Os PCD's, figura 46, tem a funcionalidade de obter várias medidas meteorológicas. Relativamente aos dados de precipitação, são realizadas medições através de um pluviômetro de caçamba basculante, com uma abertura de 200 mm de diâmetro. Cada caçambada corresponde a 0,25 mm porém estas são acumuladas e enviadas apenas a cada três horas. A tabela 20 apresenta as localidades, as coordenadas geográficas e o período de medição analisado.



Figura 46 Plataforma de coleta de dados (PCD) do CPTEC.

Locais de Medição	Latitude	Longitude	Período de Medição
Açailândia (MA)	5 ^o 02' S	47 ^o 36' W	10/2003 à 06/2005
Alcântara (MA)	2 ^o 24' S	44 ^o 25' W	08/2004 à 08/2005
Altamira (PA)	3 ^o 13' S	52 ^o 12' W	01/2003 à 02/2004
Barcarena (PA)	1 ^o 32' S	48 ^o 45' W	01/2002 à 06/2005
Balsa MET (MA)	7 ^o 31' S	46 ^o 03' W	08/2003 à 08/2005
Bonfim (RR)	3 ^o 21' N	59 ^o 50' W	01/2003 à 12/2004
Capanema (PA)	1 ^o 12' S	47 ^o 12' W	10/2003 à 05/2005
Canaã dos Carajás (PA)	6 ^o 24' S	50 ^o 00' W	03/2004 à 05/2005
Coroatá (MA)	4 ^o 08' S	44 ^o 06' W	08/2003 à 06/2005
Cruzeiro do Sul (AC)	7 ^o 36' S	72 ^o 46' W	01/2001 à 12/2004
Envira (AM)	7 ^o 25' S	70 ^o 00' W	01/2003 à 01/2005
Faz Panambi (TO)	8 ^o 05' S	46 ^o 40' W	01/2003 à 04/2005
Humaitá (AP)	7 ^o 30' S	63 ^o 00' W	01/2003 à 08/2004
Ipixuma (AM)	7 ^o 03' S	71 ^o 54' W	01/2003 à 12/2003
Jacareacanga (PA)	6 ^o 15' S	57 ^o 50' W	01/2002 à 09/2003
Loreto (MA)	6 ^o 57' S	45 ^o 10' W	08/2003 à 06/2005
Marabá (PA)	5 ^o 20' S	49 ^o 10' W	10/2003 à 05/2005
Pinheiro (MA)	2 ^o 30' S	45 ^o 06' W	01/2003 à 01/2005
Porto de Trombetas (PA)	1 ^o 30' S	56 ^o 22' W	08/2000 à 05/2005
Redenção (AM)	8 ^o 07' S	49 ^o 54' W	10/2003 à 11/2004
Riachão (MA)	7 ^o 20' S	46 ^o 30' W	08/2003 à 05/2005
São Domingos do Maranhão (MA)	5 ^o 40' N	44 ^o 20' W	01/2003 à 07/2005
São Gabriel da Cachoeira (AM)	0 ^o 54' N	67 ^o 42' W	01/2000 à 12/2004
São Luiz (MA)	2 ^o 36' S	44 ^o 12' W	01/2003 à 08/2005
Serra do Navio (AP)	0 ^o 55' N	52 ^o 00' W	01/2001 à 12/2003
Ulianópolis (PA)	3 ^o 55' S	47 ^o 30' W	01/2003 à 06/2005
Urbano Santos (MA)	3 ^o 14' S	43 ^o 24' W	01/2003 à 08/2005
Vila Apiau (RR)	2 ^o 33' N	61 ^o 18' W	01/2001 à 12/2002

Tabela 20 Coordenadas geográficas e período de medição dos PCD's do CPTEC.

O procedimento de análise é análogo ao realizado anteriormente nos dados coletados pelas medidas pluviométricas realizadas por este trabalho. Inicialmente torna-se necessário, para obtenção dos parâmetros meteorológicos, definir o valor da taxa de precipitação que será utilizado na separação da chuva estratiforme e convectiva. Para definir este nível de separação, as medidas da rede CPTEC serão comparadas pelas distribuições da taxa de precipitação cumulativa obtida através das medidas levantadas na rede de pluviógrafos que constitui a base deste trabalho, ver figura 10. Comparando as localidades listadas na tabela 20 e os sítios de medição da tabela 1, verifica-se que apenas duas localidades (Cruzeiro do Sul e São Gabriel da Cachoeira) resultam desta interseção. Outras três localidades

(Serra do Navio, Porto de Trombetas e Barcarena) encontram-se bastante próximas dos sítios de Macapá, Santarém e Belém, respectivamente. Desta forma, pelas pequenas distâncias existentes, foi suposta a equivalência entre as medidas obtidas nestas localidades. Conseqüentemente, foram comparados os dados meteorológicos do CPTEC e as distribuições estatísticas de precipitação nestas cinco localidades.

O valor de separação entre chuva convectiva e estratiforme que obteve o melhor ajuste com os dados obtidos pelos pluviógrafos do CPTEC, nas cinco localidades individualmente e simultaneamente, foi o de 10 mm em 6 horas, diferentemente ao de 15 mm em 6 horas, encontrado nas medidas anteriores deste trabalho. Como o valor de 10 mm de 6 horas foi obtido em todos os cinco locais analisados, este foi adotado como padrão e extrapolado para as demais 24 localidades do CPTEC. A tabela 21 apresenta os valores dos parâmetros meteorológicos, obtidos através das medidas do CPTEC com separação de tipo de chuva em 10mm/6horas, necessários ao modelo da U.I.T de referência.

A utilização de valores diferentes na separação do tipo de chuva (10 mm ao invés de 15 mm em 6 horas) como também a obtenção de parâmetros meteorológicos diferentes para uma mesma localidade, Cruzeiro do Sul e São Gabriel da Cachoeira (vide tabela 17 e 21), nada tem de anormal. Estas diferenças podem ser explicadas pela utilização de equipamentos com características diferentes. Em [58], Misme apresenta as diferenças de medidas obtidas por dois pluviógrafos instalados em um mesmo local, porém, com características de tempo de leitura, volume e capacidade de caçambada diferentes. Fato idêntico ao encontrado neste trabalho.

Outro aspecto que cabe ressaltar, comentado no item 4.2.1, é que conjuntos de parâmetros diferentes podem proporcionar resultados finais de ajuste da distribuição estatística de taxa de distribuição bastante próximos. Esta conclusão pode ser verificada na figura 47, onde a distribuição medida em Cruzeiro do Sul é comparada com as distribuições obtidas pelo modelo da Recomendação U.I.T-R P.837-4 utilizando parâmetros meteorológicos para esta localidade oriundo das tabelas 17 e 21.

Local de Medição	Acumulado Anual de Chuva Convectiva (mm)	Acumulado Anual de Chuva Estratiforme (mm)	Prob. de Chuva em 6 h (%)
Açailândia (MA)	1142,2	347,0	16,1
Alcântara (MA)	1425,4	490,4	17,6
Altamira (PA)	1380,3	769,7	37,9
Barcarena (PA)	2124,0	435,0	27,6
Balsa MET (MA)	1055,1	422,7	14,2
Bonfim (RR)	1071,4	461,3	18,7
Capanema (PA)	1533,4	1026,6	49,0
Canaã dos Carajás (PA)	1045,8	536,4	33,1
Coroatá (MA)	1101,0	397,0	13,9
Cruzeiro do Sul (AC)	1563,3	701,0	42,3
Envira (AM)	1741,7	764,3	25,1
Faz Panambi (TO)	1076,0	398,0	14,1
Humaitá (AP)	1957,8	552,2	25,41
Ipixuma (AM)	1626,4	875,7	33,9
Jacareacanga (PA)	1436,8	673,0	24,1
Loreto (MA)	1014,7	227,3	10,7
Marabá (PA)	1489,7	365,5	14,4
Pinheiro (MA)	1255,8	703,4	23,2
Porto de Trombetas (PA)	1682,2	734,8	26,6
Redenção (AM)	1961,8	436,5	22,9
Riachão (MA)	1412,3	370,9	13,7
São Domingos do Maranhão (MA)	1053,2	281,6	15,2
São Gabriel da Cachoeira (AM)	1756,6	696,4	23,4
São Luiz (MA)	1235,9	659,6	22,3
Serra do Navio (AP)	1348,5	1042,5	34,8
Ulianópolis (PA)	1056,7	468,1	18,0
Urbano Santos (MA)	978,6	515,4	18,3
Vila Apiau (RR)	1107,0	653,0	17,8

Tabela 21 Valores de dados meteorológicos, necessários ao cálculo do modelo da recomendação da U.I.T.-R P. 837-4, que apresentaram o melhor desempenho na comparação com medidas locais.

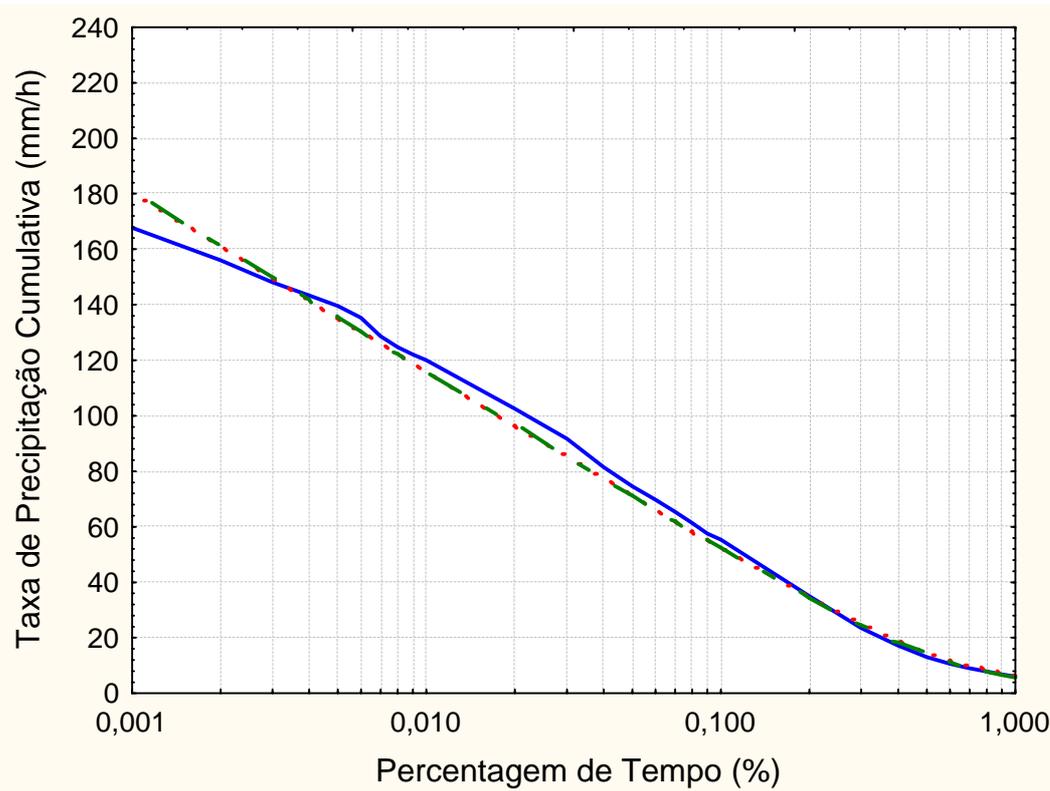


Figura 47 Comparação entre modelo da recomendação da U.I.T.-R P. 837-4 com parâmetros meteorológicos da tabela 17 (- - -), e com parâmetros meteorológicos da tabela 21 ($\frac{3}{4}$ - $\frac{3}{4}$) e medida ($\frac{3}{4}$) para o sítio de Cruzeiro do Sul.

Resumidamente, os parâmetros meteorológicos obtidos na tabela 21, obtidos através de uma separação de 10 mm em 6 horas, podem não ser os valores meteorológicos mais precisos para localidade, porém, são os que melhor adaptam às medidas realizadas pelos PCD's do CPTEC com as distribuições estatísticas medidas no local através dos pluviógrafos instalados por este trabalho.

5.5.**Proposta de novos parâmetros meteorológicos para modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4**

O objetivo principal deste item é fornecer uma proposta de atualização do modelo em questão para melhorar o desempenho do mesmo na região analisada. Concluiu-se que esta atualização será dada através da introdução de novos parâmetros meteorológicos para serem utilizados em conjunto com o equacionamento matemático definido pelo modelo na obtenção das distribuições estatísticas de precipitação. Cabe ressaltar que, por não se conhecer os dados e a forma de montagem utilizados na definição dos elementos das matrizes que disponibilizam as informações meteorológicas para o modelo e se ter apenas valores em 34 localidades espalhadas de uma forma heterogênea pela região, não foi possível se definir novas matrizes para região analisada.

Este item se limitará a fornecer uma proposta de novos parâmetros meteorológicos, a serem utilizados no modelo, para as 34 localidades analisadas. As tabelas 17 e 21 já cumprem esta função, porém são parâmetros meteorológicos obtidos através de períodos curtos de medição, variaram de 1 a 3 anos. O ideal seria se fornecer dados meteorológicos, para o modelo do U.I.T.-R, que se baseassem em um comportamento médio, isso é, calculados através de períodos de medição mais longos.

Como pode ser verificado na figura 47, conjuntos diferentes podem originar praticamente na mesma distribuição estatística de precipitação. Mais uma vez, este resultado não constitui uma limitação do procedimento utilizado, sendo consequência do ajuste através de uma função de quatro parâmetros. Assim, para trabalhar com valores medianos que sejam estatisticamente mais representativos, os dados das tabelas 17 e 21 serão adaptados, tendo em mente que o objetivo principal é a definição, do modo mais preciso possível, das distribuições estatísticas de precipitação para cada localidade.

Conforme mostrado na tabela 22, pode ser obtido, em algumas localidades, o valor médio do acumulado anual de precipitação para um longo período de medição.

Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (mm)	Referência	Período de Medição
Altamira (PA)	1987,9	[51]	1961-1990
Belém (PA)	2836,7	[52]	1923-1989
Boa Vista (RR)	1701,3	[52]	1938-1984
Cruzeiro do Sul (AC)	2170,8	[52]	1961-1990
Humaitá (AP)	2250,8	[52]	1930-1976
Macapá (AP)	2571,5	[51]	1961-1990
Manaus (AM)	2286,2	[51]	1961-1990
Marabá (PA)	2087,5	[51]	1961-1990
Redenção (AM)	1705,6	[52]	1915-1989
Riachão (MA)	1616,0	[52]	1913-1989
Santarém (PA)	2067,1	[52]	1961-1982
São Gabriel da Cachoeira (AM)	2880,4	[52]	1922-1989
São Luiz (MA)	2325,1	[51]	1961-1990
Tabatinga (AM)	2812,3	[51]	1961-1990

Tabela 22 Acumulados Anuais Médios de Precipitação.

Para as localidades onde não há disponibilidade de dados médios anuais precisos, buscou-se defini-los através de uma alternativa. Em [63] existem mapas que fornecem o acumulado médio mensal, para cada mês do ano, em todo o Brasil, obtidos através de medidas realizadas entre 1911 e 1942. Desta forma, através de um método gráfico, o acumulado anual e mensal das 34 localidades podem ser obtidos. Com base nos dados levantados graficamente, dividiu-se as 34 localidades em grupos com a mesma característica climática. Considerando a menor precisão do método gráfico, os valores obtidos por este procedimento foram corrigidos através de uma proporcionalidade (regra de três) com base nos dados da tabela 22 para as localidades aí definidas, por exemplo, Belém, Cruzeiro do Sul, São Luiz, etc. A razão de proporção a ser utilizada em cada grupo corresponde à relação entre os valores acumulados anuais obtidos através dos dois procedimentos em análise, tabela 22 e método gráfico. A tabela 23 apresenta o valor acumulado anual obtido graficamente e o valor acumulado anual atualizado para cada grupo de cidades.

Grupo I - Belém		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Belém (PA)	2650	2836,7
Barcarena (PA)	2400	2569,1
Capanema (PA)	2600	2783,2
Grupo II - Cruzeiro do Sul		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Cruzeiro do Sul (AC)	2100	2170,8
Envira (AM)	2400	2480,9
Ipixuma (AM)	2200	2274,2
Grupo III - São Luiz		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
São Luiz (MA)	1900	2325,1
Alcântara (MA)	2000	2447,5
Coroatá (MA)	1600	1958,0
Pinheiro (MA)	1950	2386,3
Urbano Santos (MA)	1700	2080,4
Grupo IV - Boa Vista		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Boa Vista (RR)	1550	1701,3
Bonfim(RR)	1500	1646,4
Vila Apiau (RR)	1700	1865,9
Grupo V - Macapá		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Macapá (AP)	2550	2571,5
Serra do Navio (AP)	2350	2369,8
Grupo VI - Marabá		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Marabá (PA)	1850	2087,5
Canaã dos Carajás (PA)	1750	1974,7
Ulianópolis (PA)	1750	1974,7

Tabela 23 Acumulados Anuais Médios de Precipitação Atualizados.

Grupo VII - Redenção		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Redenção (MA)	1700	1705,6
Açailândia (MA)	1650	1655,4
Grupo VIII - Riachão		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Riachão (MA)	1500	1616,0
Balsa MET (MA)	1350	1454,4
Loreto (MA)	1200	1292,8
Faz Panambi (TO)	1350	1454,4
São Domingos Maranhão (MA)	1250	1346,7
Grupo IX - Santarém		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Santarém (PA)	1900	2067,1
Porto de Trombeta (PA)	2150	2339,1
Grupo X – Humaitá		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Humaitá (AM)	2500	2250,8
Jacareacanga (PA)	2650	2385,8
Grupo XI – Outros		
Local de Medição	Acum. Anual de Chuva (gráfico [63]) (mm)	Acum. Anual de Chuva Atualizado (mm)
Altamira (PA)	1850	1987,9
Manaus (AM)	2150	2286,2
São Gabriel da Cachoeira (AM)	2900	2880,4
Tabatinga (AM)	2800	2812,3

Tabela 23 Acumulados Anuais Médios de Precipitação Atualizados. (continuação)

Uma vez obtidos valores dos acumulados médios anuais, adotou-se o seguinte procedimento para atualização dos parâmetros meteorológicos:

i) as distribuições de precipitação são obtidas através do modelo da Recomendação U.I.T.-R P.837-4 com os dados meteorológicos das tabelas 17 ou 21;

ii) define-se o novo valor do acumulado total de precipitação através da tabela 23;

iii) obtém-se através de um ajuste, utilizando o programa “Statística”, os novos valores para os dois outros parâmetros meteorológicos necessários ao modelo.

Finalizando, a tabela 24 apresenta os valores provenientes do banco de dados do U.I.T.-R e os novos parâmetros meteorológicos propostos para 34 localidades da região Amazônica, conforme era o objetivo deste item. Apenas na localidade de Boa Vista não foi possível trabalhar com um valor médio para o acumulado anual. Isso porque, o valor da medida está muito abaixo do valor médio, não sendo possível se realizar o ajuste desejado. Conseqüentemente, não foi proposto valor atualizado para a localidade de Boa Vista.

Local de Medição	Acumulado Anual de Chuva Convectiva (mm) U.I.T / nova proposta	Acumulado Anual de Chuva Estratiforme (mm) U.I.T / nova proposta	Prob. de Chuva em 6 h (%) U.I.T / nova prop.
Açailândia (MA)	1766,0 / 1228,3	2752,5 / 427,1	71,5 / 23,0
Alcântara (MA)	1923,6 / 1610,5	1271,7 / 837,0	58,8 / 21,4
Altamira (PA)	2033,8 / 1294,1	1907,6 / 693,8	76,6 / 28,0
Barcarena (PA)	2093,4 / 2134,9	1401,4 / 434,2	69,5 / 33,2
Balsa MET (MA)	1612,7 / 1048,7	2398,9 / 405,7	57,2 / 14,4
Belém (AP)	2053,8 / 1985,7	1307,5 / 851,0	68,0 / 34,3
Bonfim (RR)	1230,5 / 1094,9	773,6 / 551,5	60,4 / 16,3
Capanema (PA)	2001,1 / 1528,0	1284,7 / 1255,2	65,2 / 36,4
Canaã dos Carajás (PA)	2478,6 / 1180,9	2783,9 / 793,8	73,7 / 33,9
Coroatá (MA)	1793,0 / 1298,2	1709,0 / 659,8	61,8 / 22,0
Cruzeiro do Sul (AC)	601,3 / 1508,7	544,0 / 662,1	25,8 / 33,2
Envira (AM)	720,1 / 1766,4	582,0 / 714,5	29,2 / 33,0
Faz Panambi (TO)	1599,8 / 1069,0	2255,1 / 385,4	55,6 / 14,2
Humaitá (AP)	1688,1 / 1861,4	1289,2 / 389,4	55,2 / 25,4
Ipixuma (AM)	690,6 / 1917,2	512,5 / 357,0	25,6 / 31,4
Jacareacanga (PA)	1434,2 / 1531,7	1236,6 / 854,1	54,5 / 26,2
Loreto (MA)	1682,1 / 1042,0	2342,1 / 250,8	58,4 / 13,0
Macapá (AP)	1810,4 / 1447,8	879,6 / 1123,7	68,9 / 29,1
Manaus (AM)	1596,2 / 1298,6	970,1 / 987,6	58,9 / 28,9
Marabá (PA)	982,6 / 1617,8	460,2 / 469,7	46,4 / 30,6
Pinheiro (MA)	2144,9 / 1369,7	1478,3 / 1016,6	63,5 / 25,8

Tabela 24 Proposta de novos valores para os parâmetros meteorológicos, necessários ao cálculo do modelo U.I.T. 837-4.

Local de Medição	Acumulado Anual de Chuva Convectiva (mm) U.I.T / nova proposta	Acumulado Anual de Chuva Estratiforme (mm) U.I.T / nova proposta	Prob. de Chuva em 6 h (%) U.I.T / nova prop.
Porto de Trombetas (PA)	1293,6 / 1653,7	948,4 / 685,4	56,0 / 26,4
Redenção (AM)	2112,9 / 1497,5	2199,2 / 208,1	62,6 / 22,5
Riachão (MA)	1712,7 / 1354,2	2547,7 / 261,8	59,7 / 12,6
Santarém (PA)	1514,2 / 1635,1	1321,4 / 432,0	62,9 / 27,0
São Domingos do Maranhão (MA)	1761,1 / 1053,1	2118,0 / 293,6	61,9 / 13,4
São Gabriel da Cachoeira (AM)	1656,1 / 1901,1	1317,1 / 979,3	55,3 / 39,4
São Luiz (MA)	1881,6 / 1357,9	1286,0 / 967,2	57,7 / 24,9
Serra do Navio (AP)	1443,5 / 1305,8	780,7 / 1064,0	64,9 / 29,5
Tabatinga (AM)	860,3 / 1830,8	718,2 / 981,5	31,7 / 39,5
Ulianópolis (PA)	2223,8 / 1265,8	2380,4 / 708,9	72,8 / 33,1
Urbano Santos (MA)	1670,7 / 1171,3	1219,7 / 909,1	53,2 / 25,7
Vila Apiau (RR)	1196,5 / 1140,1	804,3 / 725,8	53,5 / 18,8

Tabela 24 Proposta de novos valores para os parâmetros meteorológicos, necessários ao cálculo do modelo U.I.T. 837-4. (continuação)