ANTÔNIO CALAZANS REIS MIRANDA

REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS NA AMAZÔNIA COM BASE NAS PRECIPITAÇÕES MENSAIS

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2016

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa - Campus Viçosa

T

M672r
2016

Miranda, Antônio Calazans Reis, 1980-
Regiões hidrologicamente homogêneas na Amazônia com base nas precipitações mensais / Antônio Calazans Reis Miranda. - Viçosa, MG, 2016.
xix, 147f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.
Orientador: Fernando Falco Pruski.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f.86-97.

1. hidroclimatologia - Variáveis . 2. Chuvas. 3. Entropia. 4. Sazonalidade. 5. Amazônia. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Meteorologia Aplicada. II. Título.

CDD 22. ed. 551.69811

ANTÔNIO CALAZANS REIS MIRANDA

REGIÕES HIDROLOGICAMENTE HOMOGÊNEAS NA AMAZÔNIA COM BASE NAS PRECIPITAÇÕES MENSAIS

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

APROVADA: 29 de março de 2016.

Rodrigo Cauduro Dias de Paiva

Gerson Rodrigues dos Santos

Carlos Antônio Alvares Soares Ribeiro

Gilberto Chohaku Sediyama

Fernando Falco Pruski
(Orientador)

Às pessoas humildes, trabalhadoras, honestas, e que no seu cotidiano pensam no próximo como cuidam de si. Características comuns a quem se preocupa e trabalha com as questões ambientais. Estes, em geral, não são contra as intervenções humanas e os sistemas produtivos. Apenas zelam para que sejam delineados e conduzidos de forma adequada e ordenada, para que se aproveite ao máximo as potencialidades, e se respeitem as limitações próprias dos sistemas naturais. Só assim o desenvolvimento sustentável garantido às presentes e futuras gerações pode se tornar uma realidade.

Dedicação especial aos trabalhadores rurais, trabalhadores da limpeza urbana, coleta e reciclagem de resíduos, e, principalmente, aos professores e pesquisadores, que merecem todo o respeito e reconhecimento por sua importante e honrada atuação profissional.

"A bacia hidrográfica é como se fosse o corpo e a hidrografia o sistema circulatório. As doenças do corpo refletem nas condições do sistema circulatório, sendo, portanto, imprescindível o tratamento prioritário dos problemas da bacia hidrográfica."

Fernando Falco Pruski

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Jesus de Nazaré, por compartilhar conosco os ensinamentos de Deus, que dão sabedoria, força e esperança.

A minha amada esposa, amiga, companheira e protetora, Alessandra.

A meus pais, Antônio e Ana Maria, pelo apoio irrestrito e incondicional, pelo seu amor, e pela confiança a mim depositada durante toda a minha trajetória pessoal e profissional.

Às minhas amadas irmãs, pelo exemplo que são enquanto pessoas de bem, e profissionais extremamente competentes e dedicadas.

Aos amigos da Galera do Mau, Marlignos e agregados, pela valiosa amizade.

Aos amigos e amigas do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), pelo apoio e companheirismo de sempre. Em especial à Janaína Malta, cuja dedicação enquanto estagiária foi importantíssima para a realização deste trabalho.

Aos amigos e familiares, que mesmo à distância, fazem parte dessa caminhada.

Ao estimado orientador, Prof. Fernando Pruski, pelo apoio, paciência, amizade e pela oportunidade de trabalhar e aprender muito, tanto na realização deste, quanto de tantos outros trabalhos no GPRH.

Aos amigos do Ministério do Meio Ambiente e do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, pelo apoio de sempre. Agradecimento especial à Graça Freitas, e aos professores Silvio Pereira e Flávio Justino, pela atenção, compreensão e ajuda.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos, essencial para minha manutenção quando eu estava em regime de dedicação exclusiva ao doutorado na UFV.

E por fim, agradeço à UFV, pela minha formação pessoal e profissional, conferindo-me as condições necessárias para contribuir para o desenvolvimento científico e tecnológico.

BIOGRAFIA

ANTÔNIO CALAZANS REIS MIRANDA, filho de Antônio Calazans de Miranda e Ana Maria de Miranda Reis, nasceu no dia 13 de setembro de 1980, em Senhora de Oliveira, Estado de Minas Gerais.

No primeiro semestre de 2003, ingressou no curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo o curso em julho de 2008. Durante o curso, foi membro do Departamento de Projetos da Associação Júnior de Engenharia Ambiental - Ambiental Jr., e estagiou em projetos de iniciação científica sobre tratamento de efluentes na Divisão de Água e Esgotos (DAE) da UFV.

Foi bolsista de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (BDTI) pela Fundação Arthur Bernardes (FUNARBE), em 2008, atuando em projetos de pesquisa e extensão desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da UFV.

Em 2009 trabalhou como consultor técnico em meio ambiente da prefeitura municipal de Senhora de Oliveira-MG, coordenando os trabalhos da Usina de Triagem e Compostagem (UTC), e elaborando projetos visando à conservação da água e do solo.

Em março de 2012, obteve o título de Magister Scientiae no Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Recursos Hídricos e Ambientais, no DEA da UFV. Ingressou, no mesmo mês, no Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola, atualmente Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Aplicada, área de concentração em Hidroclimatologia, também no DEA da UFV.

Em julho de 2012, entrou em exercício como servidor público federal no cargo de Analista Ambiental do Ministério do Meio Ambiente, dando prosseguimento ao Curso de Doutorado em Meteorologia Aplicada, na UFV, submetendo-se à defesa da tese em 29 de março de 2016.

SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS ix
LISTA DE FIGURAS xiii
LISTA DE TABELAS xvii
RESUMO xviii
ABSTRACT xix
1. INTRODUÇÃO 1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 3
2.1. Precipitação 3
2.2. Regiões hidrologicamente homogêneas 7
2.2.1. Métodos para identificação de Regiões Hidrologicamente Homogêneas 8
2.2.1.1. Conveniência Geográfica 8
2.2.1.2. Análise de agrupamentos 10
2.2.1.3. Análise de frequência 18
2.2.1.4. Híbridos 22
2.3. Região Hidrográfica Amazônica 25
3. METODOLOGIA 28
3.1. Caracterização da Região Hidrográfica Amazônica 28
3.2. Identificação das regiões com características similares em termos do comportamento das precipitações mensais 31
3.2.1. Dados utilizados 31
3.2.2. Métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas com base no comportamento das precipitações mensais ao longo do ano 32
3.2.2.1. Análise de agrupamentos 33
3.2.2.2. Híbridos 35
3.2.3. Aprimoramento metodológico 39

3.2.3.1. Identificação da variação das precipitações mensais ao longo do ano 39
3.2.3.2. Distribuição espacial do comportamento das precipitações mensais 41
3.2.3.3. Critérios para a definição e delimitação das regiões 42
3.2.4. Análise dos métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e do aprimoramento metodológico em relação ao comportamento hidroclimatológico e aos aspectos ambientais 44
3.2.4.1. Análise em relação ao comportamento hidroclimatológico 44
3.2.4.2. Análise em relação a aspectos ambientais 48
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES 50
4.1. Identificação das regiões com características similares em termos do comportamento das precipitações mensais 50
4.1.1. Métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas com base no comportamento das precipitações mensais ao longo do ano 51
4.1.1.1. Análise de agrupamentos 51
4.1.1.2. Híbridos 57
4.1.2. Aprimoramento metodológico 63
4.1.3. Análise dos métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e do aprimoramento metodológico em relação ao comportamento hidroclimatológico e aos aspectos ambientais 70
4.1.3.1. Análise em relação ao comportamento hidroclimatológico 70
4.1.3.2. Análise em relação a aspectos ambientais 79
5. CONCLUSÕES 84
6. RECOMENDAÇÕES 85
7. REFERÊNCIAS 86
ANEXO I 98
APÊNDICE A 109
APÊNDICE B 115
APÊNDICE C 118
APÊNDICE D 125

APÊNDICE E 129
APÊNDICE F 142
APÊNDICE G 145

LISTA DE SÍMBOLOS

a	=	parâmetro conhecido como alcance, que representa a distância h_{lag} além da qual o semivariograma atinge o valor máximo e permanece constante, ou seja, quando atinge o patamar
A	=	área de drenagem da estação, m^2
A_p	=	área total compreendida pelos pontos amostrados
c	=	número pré-definido de grupos
C_i	=	centroides dos grupos calculados a partir da matriz de relação entre os elementos e os grupos $u_{i<k}^{t+1}$
C_j	=	centroides dos K-grupos pré-definidos aleatoriamente, e dos grupos redefinidos após os cálculos das distâncias J;
$COV_{(Xj,Yj)}$	=	covariância entre as variáveis X_j e Y_j
C_0	=	parâmetro conhecido como efeito pepita, que representa a descontinuidade que ocorre na origem do semivariograma
$C_0 + C_1$	=	parâmetro conhecido como patamar, que representa o valor máximo do semivariograma, por ocorrer para grandes distâncias de separação h
d	=	distância, ou função de similaridade/dissimilaridade, considerada entre os objetos I e Z, entre J e Z, e entre I e J
d(X,Y)	=	distância, ou função de similaridade/dissimilaridade, considerada entre os pontos amostrais (estações) X e Y (variáveis independentes), adimensional
D	=	declividade media do rio principal, $m\ m^{-1}$
D_d	=	densidade de drenagem da sub-bacia, $m\ m^{-2}$
DE	=	densidade de entropia, adimensional

e_a	=	pressão de vapor atual, kPa
e_s	=	pressão de vapor na saturação, kPa
ET_0	=	evapotranspiração de referência, mm d^{-1}
$f(X_i)$	=	frequência com que ocorrem precipitações mensais de uma estação X dentro de cada classe de magnitude i, adimensional;
G	=	densidade de fluxo de calor no solo, MJ m^{-2} d^{-1}
$h_{(I \cup J, Z)}$	=	altura (height) de separação entre os objetos ou grupos de objetos considerando I e J unidos em um grupo, e Z outro grupo ou objeto a ser agrupado
h_{lag}	=	distância de separação entre dois pontos amostrais na análise de semivariância
H	=	entropia, a unidade de entropia pode ser bit se utilizado o logaritmo de base 2; napiers, ou nats, se logaritmo de base neperiana, e hartley para a base 10
Hi	=	entropia indexada de acordo com cada classe i, cuja unidade também pode ser bit, napiers ou hartley;
H(X)	=	entropia própria, ou marginal, relativa à estação X, adimensional
H(Y)	=	entropia própria, ou marginal, relativa à estação Y, adimensional
H(X,Y)	=	entropia associada, ou conjunta, entre as estações X e Y, adimensional;
I, J e Z	=	grupos (clusters), ou objetos, a serem agrupados
$\hat{J}(U,C)$	=	distância calculada entre cada ponto I_i e o centroide de seu respectivo grupo
K	=	número de classes considerado na montagem dos histogramas
L	=	comprimento total da rede de drenagem, m
$\hat{m}_E$	=	espaçamento médio entre os pontos amostrais
MI(X,Y)	=	informação mútua entre as estações X e Y, adimensional
n	=	número total de pontos amostrais distribuídos na área

n_I, n_J e n_Z	=	número de elementos (estações ou pontos amostrais) em cada grupo
n’	=	tamanho da amostra relacionada a uma variável
N	=	número de meses do ano
$N(h_{lag})$	=	números de pares de pontos amostrais para determinada distância h_{lag}
p	=	precipitação anual média de longa duração, mm
p_j	=	precipitação mensal média de longa duração no mês j, mm
p_A	=	precipitação média na área da bacia, m
P(Q)	=	probabilidades de ocorrência das vazões
P(Qia)	=	probabilidade das vazões de ordem i serem igualadas ou superadas, no caso das máximas, ou de não serem superadas, no caso das mínimas; e
$P(X_i)$	=	probabilidade de ocorrência das precipitações mensais de uma estação X dentro de cada classe de magnitude i, adimensional
$P(Y_i)$	=	probabilidade de ocorrência das precipitações mensais de uma estação Y dentro de cada classe de magnitude i, adimensional
$P(X_i,Y_i)$	=	probabilidade conjunta de ocorrência das precipitações mensais das estações X e Y dentro de cada classe de magnitude i, adimensional
Q	=	vazão a ser estimada pelo modelo ajustado, $m^3\ s^{-1}$
Q_{ia}	=	vazões adimensionalizadas
Q_i	=	vazões observadas, $m^3\ s^{-1}$
Q_{med}	=	média das vazões observadas, $m^3\ s^{-1}$
q_{mld}	=	vazão específica média de longa duração, $L\ s^{-1}\ km^{-2}$
Q_{mld}	=	vazão específica média de longa duração, $m^3\ s^{-1}$
r	=	coeficiente de correlação de Pearson, admensional
R_n	=	saldo de radiação na superfície, $MJ\ m^{-2}\ d^{-1}$
s	=	desvio padrão da variável, unidade de medida da variável
T_{med}	=	temperatura média do ar tomada a 2 m de altura, °C

u_α	=	vetor das coordenadas dos pontos amostrais, adimensional
$u_{j<k}^{t+1}$	=	relação de cada elemento com cada grupo, adimensional
U_2	=	velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1}
v	=	número de variáveis consideradas em cada ponto amostral (estação), adimensional
w_j	=	pesos atribuídos a cada combinação entre variáveis X_j e Y_j, adimensional
$\bar{x}$	=	média do valor da variável, unidade de medida da variável
y_i	=	variável reduzida
Z_j	=	valor da variável x_j normalizado para os dados de uma estação ou ponto amostral i, adimensional
$z(u_\alpha)$	=	valores observados nos pontos amostrais $\alpha = 1, 2, ..., n$
β	=	parâmetro fuzzifier, usualmente assumido como um valor entre 1,5 e 2,5
$\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$	=	parâmetros do modelo de regressão linear simples estimados pelo método dos mínimos quadrados
Δ	=	declividade da curva de pressão de vapor na saturação versus temperatura do ar, kPa $°C^{-1}$
γ	=	constante psicrométrica, kPa $°C^{-1}$
$\hat{\gamma}(h_{lag})$	=	função de semivariância
ϵ	=	critério de parada para as iterações do algoritmo Fuzzy c-means, geralmente adotado como 0,001

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferentes ciclos anuais de precipitação na América do Sul. 3

Figura 2 - Diagrama simplificado do ciclo hidrológico. 6

Figura 3 - Abrangência da Região Hidrográfica Amazônica. 25

Figura 4 - Região Hidrográfica Amazônica. 28

Figura 5 - Bioma Amazônia, distribuição da vegetação e do uso do solo na Região Hidrográfica Amazônica. 30

Figura 6 - Estações pluviométricas na Região Hidrográfica Amazônica. 31

Figura 7 - Exemplo de análise do comportamento das precipitações para três regiões distintas e em períodos distintos, por meio de box plots. 35

Figura 8 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis. 52

Figura 9 - Correção do agrupamento das estações pluviométricas para seis grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis. 54

Figura 10 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais. 56

Figura 11 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de

similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando como variável a entropia própria (H) calculada a partir das precipitações mensais. 58

Figura 12 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando como variável a Densidade de Entropia (DE) calculada a partir das precipitações mensais. 60

Figura 13 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a Informação Mútua (MI) calculada a partir das precipitações mensais. 62

Figura 14 - Entropias própria (H) e indexada (Hi) considerando "n" simulações (s_n) da variação de distribuição de probabilidade (P_i) de ocorrência das precipitações mensais para as nove classes de magnitude (i) pré-estabelecidas. 63

Figura 15 - Divisão em sete grupos considerando o "h" estimado em 11,97. 65

Figura 16 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis. 67

Figura 17 - Estações meteorológicas (MET) e pluviométricas (PLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método de análise de agrupamento Ward e comportamento da ET_0 mensal em cada região. 71

Figura 18 - Estações meteorológicas (MET) e pluviométricas (PLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método aprimorado e comportamento da ET_0 mensal em cada região. 72

Figura 19 - Estações fluviométricas (Grupos FLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método de analise de agrupamento

Ward, e comportamento da vazão específica média (q_{mld}) mensal nas respectivas sub bacias (Sub BHs) de cada região. 74

Figura 20 - Estações fluviométricas (Grupos FLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método aprimorado, e comportamento da vazão específica média (q_{mld}) mensal nas respectivas sub bacias (Sub BHs) de cada região. 75

Figura 21 - Topografia na Região Hidrográfica Amazônica considerando as regiões homogêneas, numeradas de 1 a 7, identificadas pelo método de análise de agrupamento Ward com distância euclidiana e as precipitações mensais como variáveis (a) e pelo método aprimorado (b). 80

Figura 22 - Bioma Amazônia, distribuição da vegetação e do uso do solo na Região Hidrográfica Amazônica considerando as regiões homogêneas identificadas pelo método de análise de agrupamento Ward com a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis (a) e pelo método aprimorado (b). 82

Figura 23 - Agrupamento das estações pluviométricas em quatro grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações totais médias mensais como variáveis. 119

Figura 24 - Agrupamento das estações pluviométricas em cinco grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações totais médias mensais como variáveis. 120

Figura 25 - Agrupamento das estações pluviométricas em seis grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações totais médias mensais como variáveis. 121

Figura 26 - Agrupamento das estações pluviométricas em quatro grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais. 122

Figura 27 - Agrupamento das estações pluviométricas em cinco grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais. 123

Figura 28 - Agrupamento das estações pluviométricas em seis grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais. 124

Figura 29 - Agrupamento das estações pluviométricas em quatro grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis. 126

Figura 30 - Agrupamento das estações pluviométricas em cinco grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis. 127

Figura 31 - Agrupamento das estações pluviométricas em seis grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis. 128

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição espacial e variação da precipitação na América do Sul e sistemas atmosféricos atuantes..... 4

Tabela 2. Critérios aplicados nos métodos de agrupamento hierárquico aglomerativos e particionais..... 12

Tabela 3. Principais medidas de distância utilizadas em análises de agrupamento..... 15

Tabela 4. Resumo dos métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogênea 24

Tabela 5. Classes de magnitude utilizadas. 36

Tabela 6. Definição do número de grupos. 65

Tabela 7. Amplitude máxima, distância interquartil máxima e distância máxima entre a média e a mediana entre todos os grupos formados por cada método. 69

RESUMO

MIRANDA, Antônio Calazans Reis, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Março de 2016. **Regiões hidrologicamente homogêneas na Amazônia com base nas precipitações mensais**. Orientador: Fernando Falco Pruski.

O delineamento de regiões hidrologicamente homogêneas é um procedimento essencial para provimento de informações indispensáveis aos trabalhos de modelagem, planejamento e gestão de recursos hídricos. A definição de estratégias de manejo e conservação dos recursos naturais, especialmente, em regiões com escassez de dados, como no caso da Amazônia, depende de informações obtidas por meio da identificação de regiões hidrologicamente homogêneas. Assim, este trabalho teve como objetivo o aprimoramento metodológico para a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas na Região Hidrográfica Amazônica com base na variação das precipitações mensais ao longo do ano. A metodologia envolveu a aplicação de cinco métodos existentes e de um método híbrido aprimorado, com o desenvolvimento de um novo conceito denominado entropia indexada (Hi), aplicado em conjunto com a análise de agrupamento pelo método Ward. Os resultados da análise da variação das precipitações mensais nas regiões hidrologicamente homogêneas identificadas para a Região Hidrográfica Amazônica atestaram as potencialidades e limitações das metodologias existentes. Os resultados obtidos com o método aprimorado foram consistentes considerando a variação das precipitações mensais ao longo do ano, os aspectos hidroclimatológicos e ambientais nas regiões hidrologicamente homogêneas identificadas.

ABSTRACT

MIRANDA, Antônio Calazans Reis, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, March, 2016. **Hydrologically homogeneous regions in the Amazonia based on monthly rainfall**. Adviser: Fernando Falco Pruski.

The delineation of hydrologically homogeneous regions is an essential procedure to provide information for works involving modeling, planning and management of water resources. The definition of strategies for management and conservation of natural resources, especially in regions with lack of data, as in the Amazonia, depends on information obtained with the delineation of hydrologically homogeneous regions. This work aimed to improve a methodology for delineation of hydrologically homogeneous regions in the Amazon basin region, considering the monthly rainfall variation. The methodology involved the application of five existing methods and of an improved hybrid method, with the development of a new concept called indexed entropy (Hi) applied as variable in Ward's cluster analysis method, were applied for this purpose. The results of monthly rainfall variation in the delineated hydrologically homogeneous regions attested the potential and limitations of the existing methodologies applied for the Amazon basin region. The results with the developed method were consistent, considering the monthly rainfall variation, the hydroclimatic and environmental aspects in the delineated hydrologically homogeneous regions.

1. INTRODUÇÃO

A Região Hidrográfica Amazônica, que consiste na parte da bacia hidrográfica amazônica localizada em território brasileiro, se destaca em termos de disponibilidade de água e de biodiversidade de fauna e flora, desempenhando também um papel importante na regulação dos climas regional e global. No entanto, esta é uma região ainda com dados esparsos e variáveis climáticas insuficientemente quantificadas, permanecendo as incertezas no entendimento dos diferentes processos dinâmicos do clima e sua variabilidade, tanto em escala temporal quanto espacial, assim como sua influência nos diversos ecossistemas amazônicos (NOBRE et al., 2009).

As características ecossistêmicas de fauna e flora predominantes regionalmente na extensa área da Região Hidrográfica Amazônica têm relação com a variabilidade espacial e temporal de suas componentes hidroclimatológicas, especialmente da precipitação. Estudos evidenciam que a variação da chuva é o principal fator de delimitação entre uma floresta tropical úmida, como a Amazônica, e uma savana, como o Cerrado (ANA, 2013a; HOFFMANN et al., 2012; LLOYD et al., 2009). Ressalta-se ainda que a variação das precipitações ao longo do ano em cada região produzem efeitos sobre tendência e a variabilidade das vazões, tendo implicações importantes sobre a navegabilidade dos rios, e sobre a abundância de indivíduos e riqueza de espécies. Portanto, o conhecimento das variações sazonais da precipitação em escala regional pode viabilizar o planejamento do uso, manejo e conservação dos recursos naturais, que sejam adequados à realidade de cada região.

Quando o interesse é analisar as variações sazonais da precipitação, assim como outros processos hidrológicos, em escala regional, pode-se dividir a região de interesse em sub-regiões a fim de agrupar as regiões que apresentam comportamento hidrológico homogêneo. Assim, o procedimento de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas constitui base para o desenvolvimento de trabalhos envolvendo modelagem hidroclimatológica, regionalização de vazões, planejamento

conservacionista e de uso racional dos recursos naturais. No entanto, a rede de monitoramento limitada e, muitas vezes, com escassez de dados fluviométricos, como acontece na Região Hidrográfica Amazônica, não supre as necessidades dos técnicos para análises das vazões ao longo da hidrografia. Assim, a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas considerando a variação das precipitações mensais constitui uma alternativa para estimativas em locais sem ou com um curto período de monitoramento fluviométrico.

Diante da importância da identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, existe na literatura uma grande variedade de metodologias para esta finalidade (DINIZ et al., 2012; EUCLYDES et al. 2001, 2014; GONTIJO JUNIOR; KOIDE, 2012; GUEDES; SOUSA, 2011; RODRIGUEZ et al., 2015; SANTOS et al., 2015; SOUSA et al., 2012). Porém, percebe-se que ainda não existe consenso sobre qual método aplicar em cada situação, sendo que, diante de suas limitações, estes métodos proveem resultados dos mais diversos e, muitas vezes, conflitantes entre si. Neste sentido, o presente trabalho se baseou na hipótese de que as regiões hidrologicamente homogêneas na Região Hidrográfica Amazônica podem ser definidas com base na variação das precipitações mensais ao longo do ano, sendo necessário ainda um aprimoramento metodológico que permita a identificação destas regiões de forma objetiva e consistente.

Com base nesta hipótese, este trabalho teve como objetivo o aprimoramento metodológico para a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas na Região Hidrográfica Amazônica com base na variação das precipitações mensais ao longo do ano.

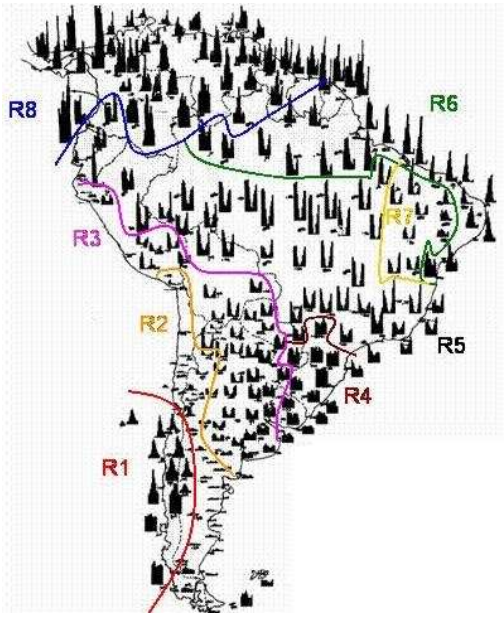
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Precipitação

A precipitação varia consideravelmente no espaço e no tempo, sendo influenciada pelos padrões de circulação atmosférica e por fatores locais (CHOW et al., 1988).

A distribuição da precipitação e dos demais elementos climáticos não é homogênea no globo terrestre, uma vez que é determinada em grande parte pela circulação geral da atmosfera, a qual é influenciada: pelo aquecimento diferencial do globo terrestre pela radiação solar; pela distribuição assimétrica de oceanos e continentes; e também pelas características topográficas dos continentes (FERREIRA; MELLO, 2005; INPE, 1996).

Os principais sistemas de circulação atmosférica atuantes na distribuição espacial e na variação da precipitação na América do Sul (AS) são descritos nas Figura 1 e Tabela 1.



Adaptado de: REBOITA et al. (2010)

Figura 1 - Diferentes ciclos anuais de precipitação na América do Sul.

Tabela 1. Distribuição espacial e variação da precipitação na América do Sul e sistemas atmosféricos atuantes

Região		**Característica do Ciclo Anual de Precipitação**	**Sistemas Atmosféricos Atuantes**
R1	Sudoeste da AS (Centro-Sul do Chile e Extremo Oeste do Centro-Sul da Argentina)	Máximos de precipitação no inverno e mínimos no verão, exceto na parte mais austral, onde a precipitação é praticamente homogênea ao longo do ano. Total anual varia entre 1000 e 1700 mm	Anticiclone Subtropical do Pacífico Sul (ASPS); frentes; ciclones
R2	Norte do Chile, Noroeste e Centro-Sul da Argentina	A precipitação é praticamente homogênea ao longo do ano e com baixo total anual (inferior a 350 mm/ano). No deserto do Atacama, norte do Chile, a precipitação é inferior a 100 mm/ano	ASPS; frentes; ciclones
R3	Oeste do Peru, Oeste e Sul da Bolívia, Norte e Centro-Leste da Argentina e Centro-Norte do Paraguai	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno. O total anual varia entre 350 e 700 mm, exceto no centro-leste da Argentina e Paraguai que varia entre 700 e 1400 mm.	Convecção por aquecimento radiativo da superfície; Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs) subtropicais, frentes, ciclones, Vórtices Ciclônicos em Altos Níveis (VCANs) subtropicais; Jato em Baixos Níveis (JBN) a leste dos Andes
R4	Sul do Brasil, Sul do Paraguai e Uruguai	A precipitação é praticamente homogênea ao longo do ano. O total anual é elevado (1050-1750 mm/ano) sendo ainda maior no oeste do sul do Brasil na fronteira com o Paraguai (1750- 2100 mm/ano)	Frentes; ciclones; VCANs subtropicais; Linhas de Instabilidade (LI) pré-frontais; nuvens vírgula; CCMs subtropicais, bloqueios atmosféricos; Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS); Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS); JBN a leste dos Andes; brisa

Tabela 1. Continuação...

Região		Característica do Ciclo Anual de Precipitação	Sistemas Atmosféricos Atuantes
R5	Noroeste a Sudeste do Brasil incluindo ainda o Equador e Norte do Peru	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno. O total anual varia ao longo da R5: no setor norte é superior a ~2450 mm, já no centro-oeste e sudeste é de ~1500 mm	Ventos alísios; JBN a leste dos Andes; ASAS; convecção por aquecimento radiativo da superfície; anticiclone em altos níveis conhecido como Alta da Bolívia (AB); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT); ZCAS; brisa; LI tropicais e pré-frontais; CCMs tropicais; frentes; VCANs subtropicais; ciclones
R6	Norte da Região Norte do Brasil e Litoral do Nordeste do Brasil	Máximos de precipitação no primeiro semestre do ano. No norte da região norte do Brasil o total anual é de 2000 mm, enquanto no litoral do nordeste do Brasil é de 1500 mm	ZCIT; convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; ventos alísios, brisa; LI; ondas de leste; cavado do nordeste do Brasil; VCANs tropicais; ASAS; frentes
R7	Sertão Nordestino do Brasil	Máximos de precipitação no verão e mínimos no inverno, mas os totais são reduzidos (entre 200 e 500 mm/ano)	Ramo descendente da circulação zonal propiciada pela atividade convectiva na Amazônia; ZCIT; VCANs tropicais; frentes; ASAS
R8	Norte da América do Sul (Colômbia, Venezuela e Guiana)	A precipitação é abundante o ano todo, mas com maiores totais no inverno. O total anual é superior a 1500 mm	Ventos alísios; ZCIT; ondas de leste; cavados em altos níveis; convecção por aquecimento radiativo da superfície; CCMs tropicais; circulação de brisa; LI tropicais

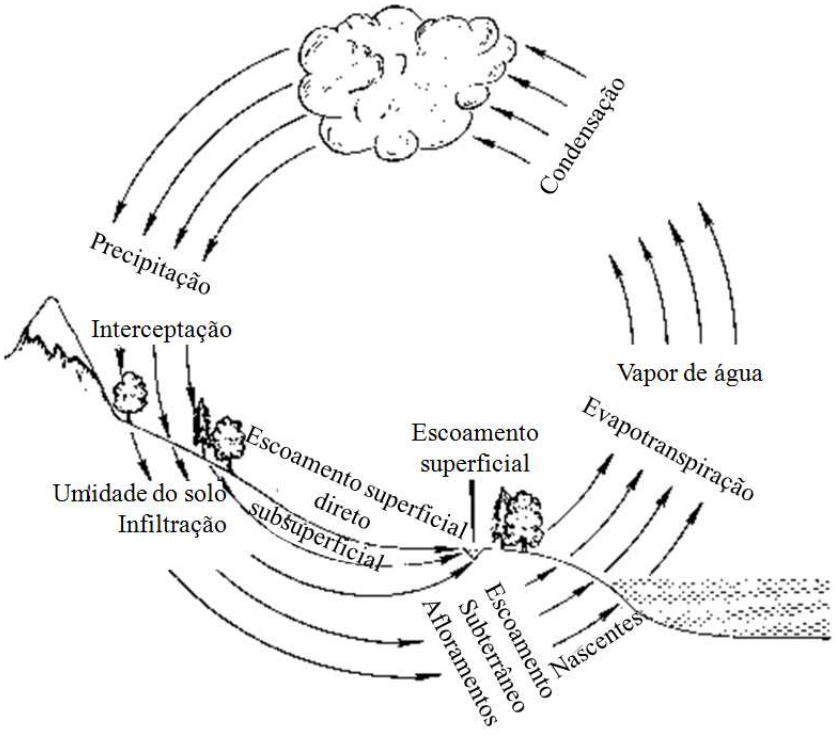
Fonte: REBOITA et al. (2010)

Nas superfícies continentais, a precipitação corresponde a uma proporção de evapotranspiração reciclada da atmosfera, ou seja, que retorna como chuva em algum lugar do continente, sendo que, somente parte da evapotranspiração regional

contribui para a precipitação na própria região, já que parte é suplementada pela umidade trazida pelo fluxo horizontal (ROCHA et al., 2009a).

Por outro lado, a precipitação também tem influência sobre a evapotranspiração, que varia em função de um conjunto de variáveis físicas e climáticas, tais como: umidade do solo; déficit de pressão de vapor; velocidade do vento; temperatura e saldo de radiação na superfície (ALLEN et al., 1998; CARVALHO et al., 2011; BLAIN; PIRES, 2011; BORGES JÚNIOR et al., 2012; CONCEIÇÃO, 2006; COSTA et al., 2010; LIMA et al., 2014; MONTEIRO et al., 2014; SANTOS et al., 1994; SILVA et al., 2013).

Uma vez que a precipitação atinge a superfície terrestre, a água pode infiltrar no solo, escoar sobre a superfície, acumular nas folhas das plantas ou em poças, de onde se evapora de volta para a atmosfera. A água da chuva que se infiltra no solo faz parte da água do solo, da qual, uma parte pode constituir a recarga das águas subterrâneas, caso a infiltração seja suficiente para ir além da zona do enraizamento da vegetação. Outra parte retorna para a atmosfera por meio do processo da evapotranspiração, constituído pela água que evapora da superfície do solo e das superfícies líquidas, somada à água proveniente da transpiração das plantas, completando o ciclo hidrológico (Figura 2).



Adaptado de: Shaxson; Barber (2003)

Figura 2 - Diagrama simplificado do ciclo hidrológico.

Os processos de entrada de água no sistema e de infiltração da água no solo estão intimamente relacionados à variação das precipitações, que, consequentemente, têm grande influência no processo de formação das vazões (BRANDÃO et al., 2006; TUCCI, 2009). Neste sentido, a precipitação é condicionante principal do comportamento das águas superficiais, que incluem a contribuição pelo escoamento subterrâneo, ou de base, e o escoamento superficial direto, formado pelas águas que escoam sobre a superfície do solo e chegam diretamente à hidrografia como resposta de curto prazo aos eventos de precipitação (CUSTÓDIO; LLAMAS, 1983; HUANG; ZHANG, 2004; SHAXSON; BARBER, 2003). Assim, a influência das precipitações sobre a tendência e a variabilidade das vazões condiciona a navegabilidade dos rios em determinadas épocas do ano (MACÊDO et al., 2013), além de constituir elemento determinante para a abundância de indivíduos e riqueza de espécies da ictiofauna (COPATTI; COPATTI, 2011).

De acordo com o INPE (2016), o conhecimento prévio das características de início e fim da estação chuvosa em uma região é uma demanda importante da sociedade, visto que estas informações são necessárias para os planejamentos de diversos setores, tais como o agrícola, o energético, os de segurança e saúde pública.

2.2. Regiões hidrologicamente homogêneas

As regiões hidrologicamente homogêneas consistem de regiões que subdividem uma área maior, agrupadas com base na similaridade de suas características hidrológicas, considerando, por exemplo, o comportamento das vazões, os aspectos físicos e climáticos. Assim, quando o interesse é realizar análises dos processos hidrológicos em escala regional, pode-se dividir a região de interesse em sub-regiões a fim de agrupar aquelas que apresentam comportamento hidrológico homogêneo (BESKOW et al., 2014).

O procedimento de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas é aplicado, por exemplo, a estudos de regionalização de vazões, que consiste no ajuste de modelos ou equações para a estimativa de vazões em pontos ao longo da hidrografia com dados escassos ou inexistentes. Neste contexto, a identificação prévia das regiões hidrologicamente homogêneas favorece a diminuição dos erros no ajuste destes modelos ou equações (EUCLYDES et al., 2014).

A classificação de bacias hidrográficas considerando suas características similares permite testes de hipóteses sobre a semelhança entre os sistemas hidrológicos, bem como uma melhor concepção de redes experimentais e de monitoramento, e orienta a escolha de modelos adequados para determinados sistemas hidrológicos (McDONNELL; WOODS, 2004). Neste contexto, pode-se dizer que a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas é uma alternativa interessante para a classificação de bacias ou regiões hidrográficas. Mas necessita ir além da simples caracterização da paisagem ou da prescrição de sua heterogeneidade por meio dos modelos altamente calibrados, devendo também explorar o conjunto organizado de princípios que destaquem a heterogeneidade e complexidade dos processos hidrológicos nestas regiões (McDONNEL et al., 2007).

2.2.1. Métodos para identificação de Regiões Hidrologicamente Homogêneas

Existem diversas metodologias para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, porém, ainda não existe consenso sobre qual delas aplicar a cada situação (NAGHETTINI; PINTO, 2007). Alguns trabalhos abordam métodos existentes de maneira genérica, enquanto outros se aprofundam na aplicação de apenas um método (PRUSKI et al., 2013; RODRIGUEZ et al., 2015; SANTOS et al., 2015). Portanto, uma exploração abrangente e integrada acerca dos métodos existentes pode ampliar o conhecimento de suas características, vantagens e limitações para a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas para diferentes situações.

No presente trabalho, os métodos existentes para a identificação da homogeneidade hidrológica entre regiões foram categorizados em quatro tipologias gerais: conveniência geográfica; análise de agrupamentos; análise da distribuição de frequência; e híbridos. Na sequência, estes métodos estão descritos com maior nível de detalhe, considerando seus princípios e características, assim como as vantagens e desvantagens quanto à aplicabilidade de cada método.

2.2.1.1. Conveniência Geográfica

Os métodos categorizados como Conveniência Geográfica estão associados ao processo regionalização de vazões. Na prática, a homogeneidade durante o processo de regionalização de vazões é determinada a partir da análise da qualidade do ajuste dos modelos de regressão múltipla. Estes modelos são ajustados

considerando as vazões e as características físicas e climáticas medidas em estações das sub-bacias contíguas, o que se enquadra no conceito de Conveniência Geográfica descrito por Naghettini e Pinto (2007).

Euclydes et al. (2001) aplicaram o método de Conveniência Geográfica para definição de regiões hidrologicamente homogêneas baseada na avaliação do ajuste dos modelos de regionalização de vazões. Estes modelos são aplicados com o objetivo de transpor informações de locais com a existência de registros provenientes de monitoramento hidrológico para outros locais cujo monitoramento é inexistente ou apresenta um curto período com disponibilidade de dados (BESKOW et al. 2014; PRUSKI et al., 2012).

A metodologia descrita por Euclydes et al. (2001) consiste na análise do ajuste do próprio modelo de regionalização, obtido por meio da regressão múltipla das vazões com as características físicas e climáticas das bacias, representado pela equação

$$Q = f(A, L, D_d, D, p_A) \qquad (1)$$

em que

- Q = vazão a ser estimada pelo modelo ajustado, $m^3 s^{-1}$;
- A = área de drenagem da estação, m^2;
- L = comprimento total da rede de drenagem, m;
- D_d = densidade de drenagem da sub-bacia, $m\ m^{-2}$;
- D = declividade media do rio principal, $m\ m^{-1}$; e
- p_A = precipitação média na área da bacia, m.

Salienta-se que as variáveis explicativas dos modelos de regionalização de vazões devem ser selecionadas de acordo com as vazões a serem regionalizadas (médias, mínimas ou máximas), sendo necessária uma ampla compreensão dos processos envolvidos em sua formação (GREHYS, 1996; PRUSKI et al., 2013).

Pode-se optar também por diferentes modelos de regressão múltipla para descrever a relação das vazões com as variáveis adotadas. Portanto, deve-se avaliar, entre os modelos linear, exponencial, potencial, logarítmico, ou recíproco, aquele que melhor se ajusta ao comportamento dos dados correlacionados (EUCLYDES et al., 2014).

Para a definição das regiões hidrologicamente homogêneas por este método são analisados os coeficientes da regressão, a tendência e a classificação dos resíduos padronizados, além do erro percentual entre as vazões observadas e as estimadas pelo modelo que melhor se ajusta à distribuição das vazões. Assume-se, na sequência, que a combinação de estações que apresentam o melhor ajuste constitui uma região hidrologicamente homogênea. Portanto, a aplicação deste método impõe a necessidade de se repetir todo o processo desde o início quando os resultados iniciais de ajuste dos modelos não são satisfatórios, envolvendo um processo de tentativa e erro até que se consigam modelos adequadamente ajustados. Dependendo do tamanho da bacia pode haver uma quantidade expressiva de combinações possíveis de sub-bacias e de variáveis a serem testadas até que se encontre o ajuste satisfatório dos modelos para a definição das regiões hidrologicamente homogêneas. Vale destacar que, atualmente, existem ferramentas computacionais como o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões - SisCoRV 1.0 (ANA, 2013d), que auxiliam na aplicação deste procedimento.

Além disso, ressalta-se que os modelos de regionalização de vazões podem apresentar ajustes inadequados ou tendenciosos. Isso ocorre devido ao número reduzido de graus de liberdade da regressão, principalmente, quando se tem um número reduzido de estações fluviométricas. O ajuste inadequado ou tendencioso dos modelos de regionalização de vazões pode ocorrer mesmo com a análise rigorosa da qualidade do ajuste destes modelos de regressão, utilizando-se diferentes estatísticas, tais como: coeficiente de determinação ajustado, erro padrão fatorial e teste F (EUCLYDES et al., 2014). Para evitar tais resultados, podem ser aplicados outros critérios estatísticos com limiares pré-estabelecidos arbitrariamente (razão de verossimilhança, coeficientes de variação e assimetria, L-moments) para a verificação do nível de homogeneidade das regiões agrupadas (GREHYS, 1996). Com isso, a Conveniência Geográfica se torna um tipo de agrupamento objetivo. Ainda assim, estes métodos envolvem subjetividade e conveniência uma vez que pressupõe o agrupamento de estações/sub-bacias contiguas, as quais podem apresentar heterogeneidade entre si (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

2.2.1.2. Análise de agrupamentos

A análise de agrupamentos, ou aglomerados (cluster analysis, ou clustering) tem sido largamente utilizada na definição de regiões hidrologicamente homogêneas

(DINIZ et al., 2012; NAGHETTINI; PINTO, 2007), por envolver metodologias que objetivam a formação de grupos de estações, ou de regiões, com características similares entre si.

Existem diferentes métodos de análise de agrupamentos (DALTON et al., 2009; GOYAL; GUPTA, 2014), que podem ser utilizados na identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, subdivididos em duas categorias gerais: hierárquicos (dos tipos aglomerativo e divisivo) e particionais (dos tipos K-means e fuzzy c-means).

O método da ligação simples (Single-Linkage) é um dos métodos de agrupamento hierárquico aglomerativo que utiliza a técnica do vizinho mais próximo (Nearest Neighbor), na qual a distância entre dois grupos é determinada pela distância do par de exemplos mais próximo, sendo cada exemplo pertencente a um desses grupos.

O método da ligação completa (Complete-Linkage) é outro exemplo de agrupamento hierárquico aglomerativo que utiliza a técnica conhecida como vizinho mais distante (Farthest Neighbor). Este método determina a distância entre dois grupos de acordo com a maior distância entre um par de exemplos, sendo cada exemplo pertencente a um grupo distinto.

Já o método de Ward é um método de agrupamento hierárquico aglomerativo em que os grupos de dados são formados em etapas e são sistematicamente reduzidos (n,n-1,n-2,...), considerando a união de todos os n(n-1)/2 possíveis pares e selecionando a união que tem um valor máximo para a função objetivo (DINIZ et al., 2012). O método aplica a abordagem da análise de variância, na qual a semelhança entre os membros de uma região é medida em termos do erro quadrático médio (ILORME; GRIFFIS, 2013; LYRA et al., 2006). Este método é um dos mais utilizados entre os métodos de análise de agrupamentos hierárquicos, sendo considerado como o que produz resultados mais satisfatórios para análises de agrupamentos, por três motivos: (1) forma grupos bem definidos e mais fáceis de serem individualizados (DINIZ et al., 2012); (2) não exige a pré-definição do número ideal de clusters antes dos cálculos; e (3) produz resultados consistentes em termos de identificação de regiões homogêneas (FARSADNIA et al., 2014; MELO JÚNIOR et al. 2006).

Os métodos K-médias (K-Means) e o fuzzy c-médias (fuzzy c-means) são métodos de agrupamento particionais que buscam encontrar o melhor

particionamento dos n objetos em k grupos por meio de algoritmos de aprendizagem não supervisionados. Nestes métodos o número inicial de agrupamentos é definido aleatoriamente, e são estimados seus respectivos centroides.

No método K-médias as iterações são repetidas até que não ocorram mais mudanças nos centroides dos agrupamentos. Este método é extremamente sensível aos agrupamentos iniciais que são formados aleatoriamente, já que as distâncias entre os K-centróides desses K-grupos afeta os resultados finais. Assim, recomenda-se que os K-grupos iniciais tenham seus K-centróides tão distantes entre si quanto possível (GOYAL; GUPTA, 2014). No entanto, como os K-grupos iniciais são gerados aleatoriamente, usualmente, utiliza-se como critério a reaplicação do método K-médias por certo número de vezes e selecionam-se os melhores resultados (DALTON et al., 2009; DINIZ et al., 2012).

Já no caso do método fuzzy c-médias, o operador define inicialmente os parâmetros fuzzifier (β), que usualmente é um valor adotado entre 1,5 e 2,5; e o critério de parada para as iterações, geralmente adotado como 0,001 (GOYAL; GUPTA, 2014).

Na Tabela 2 é disponibilizado um resumo dos critérios aplicados nos métodos de agrupamento hierárquico aglomerativos e particionais.

Tabela 2. Critérios aplicados nos métodos de agrupamento hierárquico aglomerativos e particionais

Tipo	Método	Critérios aplicados no agrupamento	
Hierárquico Aglomerativo	ligação simples (Single-Linkage)	$h_{(I\cup J,\, Z)} = \min(d(I,Z),\, d(J,Z))$	(2)
	ligação completa (Complete-Linkage)	$h_{(I\cup J,\, Z)} = \max(d(I,Z),\, d(J,Z))$	(3)
	Media (Average)	$h_{(I\cup J,Z)} = \frac{n_I\, d(I,Z) + n_J\, d(J,Z)}{n_I + n_J}$	(4)
	Weighted (McQuitty)	$h_{(I\cup J,Z)} = \frac{d(I,Z) + d(J,Z)}{2}$	(5)
	Ward	$h_{(I\cup J,Z)} = \sqrt{\frac{(n_I + n_Z)\, d(I,Z)^2 + (n_J + n_Z)\, d(J,Z)^2 - n_Z\, d(I,J)^2}{n_I + n_J + n_z}}$	(6)
	Centroide	$h_{(I\cup J,Z)} = \sqrt{\frac{n_I\, d(I,Z)^2 + n_J\, d(J,Z)^2}{n_I + n_J} - \frac{n_I n_J\, d(I,J)^2}{(n_I + n_J)^2}}$	(7)
	Mediana	$h_{(I\cup J,Z)} = \sqrt{\frac{d(I,Z)^2}{2} + \frac{n_J\, d(J,Z)^2}{2} - \frac{d(I,J)^2}{4}}$	(8)

Tabela 2. Continuação...

Tipo	Método	Critérios aplicados no agrupamento	
Particional	K-médias (K-Means)	$C_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{M} I_i^{(j)}$	(9)
		$\hat{J} = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{M} \left(I_i^{(j)} - C_j \right)^2$	(10)
	Fuzzy c-médias (fuzzy c-means)	$u_{i<k}^{t+1} = \left[\sum_{j=1}^{M} \left[\frac{(I_k - c_i)}{(I_k - c_j)} \right]^{\frac{2}{\beta-1}} \right]^{-1}$	(11)
		$C_i = \frac{\sum_{k=1}^{M} u_{ik}^{\beta} I_k}{\sum_{k=1}^{M} u_{ik}^{\beta}}$	(12)
		$\hat{J}(U,C) = \sum_{j=1}^{k} \sum_{i=1}^{c} u_{ik}^{\beta} (I_k - C_i)^2$	(13)
		$max_{ik}\left(\left\| u_{ik}^{t+1} - u_{ik}^{t} \right\| \right) < \epsilon$	(14)

Fontes: CHAVENT et al. (2007); GOYAL; GUPTA (2014); MÜLLNER (2013).

em que

$h_{(I \cup J, Z)}$ = altura (height) de separação entre os objetos ou grupos de objetos considerando I e J unidos em um grupo, e Z outro grupo/objeto a ser agrupado;

d = distâncias, ou funções de similaridade/dissimilaridade, considerada entre I e Z, entre J e Z, ou entre I e J;

I, J e Z = grupos (clusters), ou objetos (pontos amostrais) a serem agrupados;

n_I, n_J e n_Z = número de elementos em cada grupo;

C_j = centroides dos K-grupos pré-definidos aleatoriamente, e dos grupos redefinidos após os cálculos das distâncias $\hat{J}$;

$u_{i<k}^{t+1}$ = relação de cada elemento com cada grupo;

c = número pré-definido de grupos;

β = parâmetro fuzzifier, assumido como um valor entre 1,5 e 2,5;

C_i = centroides dos grupos calculados a partir da matriz de relação entre os elementos e os grupos $u_{i<k}^{t+1}$;

$\hat{J}$ = distância calculada entre cada ponto I_i e o centroide de seu respectivo grupo; e

ϵ = critério de parada para as iterações do algoritmo Fuzzy c-means, geralmente adotado como 0,001.

Além desses, existem os métodos de análise de agrupamento hierárquico do tipo divisivo, nos quais os procedimentos se iniciam com todos os objetos em um único grupo, que é sucessivamente dividido em grupos menores. Estes métodos se baseiam em algoritmos recursivos, que analisam a qualidade dos grupos formados a cada subdivisão, redistribuem os membros entre os grupos, e repetem o procedimento. A análise da qualidade dos grupos é feita por meio de diversos critérios, incluindo aqueles baseados na redução da variância, ou na inercia dos centróides dentro de cada grupo, que são os critérios utilizados nos métodos Ward e K-médias. No entanto, Chavent et al. (2007) demonstraram que os métodos Ward e K-médias, em geral, são mais eficientes, especialmente no caso de maior número de subdivisões.

Para a análise de agrupamento, primeiramente, é necessário se definir quais as variáveis a serem consideradas. Diniz et al. (2012) enumeram uma série de variáveis físicas e hidroclimatológicas que podem ser utilizadas em análises de agrupamento de sub-bacias, que são:

- Variáveis representativas das características físicas: Área (A), Perímetro (P), índice de circularidade (Ke), Fator de forma (Kf), Índice de compacidade (Kc), linha de fundo (Lf), comprimento do curso d'água (Lt), Comprimento total da rede de drenagem (L), Índice dos comprimentos (RL), Densidade de drenagem (Dd), largura média (Lm), Declividade máxima (Imax), Elevação média da bacia (Cmed), Ordem dos cursos de água (Or), Índice de bifurcação (Rb), Índice das áreas (Ra), Coeficiente de torrencialidade (Ct), índice de rugosidade (IR), extensão média do escoamento superficial (Le), sinuosidade do curso d´água (SIN), lado maior do retângulo equivalente (Lr), lado menor do retângulo equivalente (lr), Índice de declividade média da bacia (Ip), índice de declividade global (IG), desnível específico (DS), percentuais de cada tipo de solo, e Área do Espelho (AE);
- Variáveis representativas das características hidroclimatológicas: Lâmina Média Anual Escoada na sub-bacia (LES), Precipitação média na sub-bacia (P), e Evapotranspiração média na sub-bacia (ET).

Esta diversidade quanto à escolha e combinação de variáveis hidroclimatológicas e físicas utilizadas em análise de agrupamento pode estar relacionada à simplicidade e versatilidade de aplicação destes métodos. Isso também revela incertezas quanto aos seus resultados, as quais podem ser atribuídas ao grau de

subjetividade quanto à definição da combinação de variáveis utilizadas, e à distância adotada como limiar (threshold) de aceitação dos agrupamentos. Para se reduzir a subjetividade quanto à escolha das variáveis que melhor descrevem o comportamento hidrológico das regiões, sugerem-se a aplicação de análises estatísticas multivariadas, tais como: análise de componentes principais, análises de correlação canônica e análise discriminante múltipla (ELESBON et al., 2015; GREHYS, 1996; ILORME; GRIFFIS, 2013; SSEGANE et al., 2012a,b); ou redes neurais artificiais, como a rede neural de Kohonen (HALL; MINNS, 1999; FARSADNIA et al., 2014), também conhecida como mapa de feições auto-organizadas (Self-Organizing feature Map - SOM).

As análises de agrupamento, assim como a validação dos grupos formados, são feitas considerando diferentes medidas de distância, ou de similaridade/dissimilaridade (PORTILLO; MENDOZA, 2008), tais como as apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Principais medidas de distância utilizadas em análises de agrupamento

Distância	Equação	
Minkowski (L_α)	$d(X,Y)_{\alpha\geq 1} = \left[\sum_{j=1}^{v} \lvert X_j - Y_j \rvert^{\alpha}\right]^{1/\alpha}$	(15)
Euclidiana (Minkowski com $\alpha=2$)	$d(X,Y)_{\alpha=2} = \left[\sum_{j=1}^{v} (X_j - Y_j)^2\right]^{1/2}$	(16)
Euclidiana Ponderada	$d(X,Y) = \left[\sum_{j=1}^{v} w_j (X_j - Y_j)^2\right]^{1/2}$	(17)
Euclidiana Quadrática	$d(X,Y) = \sum_{j=1}^{v} (X_j - Y_j)^2$	(18)
City Block (Manhattan, ou Minkowski com $\alpha=1$)	$d(X,Y) = \sum_{j=1}^{v} \lvert X_j - Y_j \rvert$	(19)
Mahalanobis (distância quadrática)	$d(X,Y) = \left[\sum_{j=1}^{n'} \frac{(X_j - Y_j)^2}{COV_{(X_j,Y_j)}}\right]^{1/2}$	(20)

Tabela 3. Continuação...

Distância	Equação	
Bray e Curtis (Sorensen)	$d(X,Y) = \frac{\sum_{j=1}^{v}\lvert X_j - Y_j\rvert}{\sum_{j=1}^{v}(X_j - Y_j)}$	(21)
Divergência (Divergence)	$d(X,Y) = \left[\sum_{j=1}^{v}\frac{(X_j - Y_j)^2}{(X_j + Y_j)^2}\right]^{1/2}$	(22)
Bhattacharyya	$d(X,Y) = \left[\sum_{j=1}^{v}\left(\sqrt{X_j} - \sqrt{Y_j}\right)^2\right]^{1/2}$	(23)
Chebychev	$d(X,Y) = \text{máx}\left(\lvert X_j - Y_j\rvert\right)\Big\rvert_{j=1}^{v}$	(24)
Canberra	$d(X,Y) = \sum_{j=1}^{v}\frac{\lvert X_j - Y_j\rvert}{\lvert X_j\rvert + \lvert Y_j\rvert}$	(25)
Correlação de Pearson	$d(X,Y) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{n'} X_j \times Y_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^{n'} X_j^2 \times \sum_{j=1}^{n'} Y_j^2}} = 1 - r$	(26)

Adaptado de: KUMAR et al. (2014); ZERZUCHA e WALCZAK (2012).

em que

$d(X,Y)$ = distância, ou medida de similaridade/dissimilaridade entre os pontos amostrais (estações) X e Y (variáveis independentes), adimensional;

w_j = pesos atribuídos a cada combinação entre variáveis X_j e Y_j, adimensional;

$COV_{(Xj,Yj)}$ = covariância entre as variáveis X_j e Y_j, adimensional;

r = coeficiente de correlação de Pearson, , adimensional;

n’ = tamanho da amostra relacionada a uma variável; e

v = número de variáveis consideradas em cada ponto amostral (estação), adimensional.

De todas estas, a mais utilizada é a distância Euclidiana (MELO JÚNIOR et al. 2006; NAGHETTINI; PINTO, 2007), que representa a distância geométrica entre pontos amostrais considerando suas variáveis características “v”. Porém, diversas outras medidas de similaridade/ dissimilaridade são encontradas na literatura, mas com menor grau de aplicação (CHA, 2007; KUMAR et al. 2014).

A avaliação da qualidade dos grupos formados, geralmente, é feita com a

aplicação de índices estatísticos que visam comparar, de diferentes formas, as distâncias de similaridade entre os elementos de um mesmo grupo com as dissimilaridades existentes entre os elementos de grupos distintos (GOYAL; GUPTA 2014). Entre os diversos índices de validação de grupos existentes, os mais utilizados são os de Silhouette, de Davies-Bouldin, e o índice Dunn (ARBELAITZ et al., 2013, DINIZ et al., 2012), dados pelas equações

Silhouette

$$S(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max[a(i),b(i)]} \quad (27)$$

Dunn

$$C = \frac{d_{min}}{d_{max}} \quad (28)$$

Davies-Bouldin

$$DB(C) = \frac{1}{K}\sum \max\left[\frac{S(c_k)+S(c_l)}{d(\bar{c_k},\bar{c_l})}\right] \quad (29)$$

$$\bar{c_k} = \frac{1}{|c_k|}\sum I_i \quad (30)$$

$$S(c_k) = \frac{1}{|c_k|}\sum d(I_i,\bar{c_k}) \quad (31)$$

em que

- a(i) = similaridade/dissimilaridade média entre o ponto i os demais pontos pertencentes ao seu grupo;
- b(i) = menor média entre o ponto i de determinado grupo e os pontos pertencentes a outros grupos ;
- d_{min} = similaridade/dissimilaridade mínima entre os pontos pertencentes a diferentes grupos;
- d_{max} = similaridade/máxima entre os pontos pertencentes ao mesmo grupo; e
- c_k e c_l = centroides dos grupos k e l.

Arbelaitz et al. (2013) destacam que a maioria dos índices de validação se baseiam na estimativa da coesão (intra variância do grupo) e separação (variância

entre grupos) comparando estas medidas na forma de razões (índices tipo razão) ou somas (índices tipo somatório). Estes autores avaliaram extensivamente a performance de um total de 30 índices de validação de agrupamentos, que podem ser empregados para a determinação do número ótimo de grupos. Estes autores concluíram que não existe clara vantagem em se utilizar determinado índice em detrimento dos demais, ressaltando ainda a necessidade de se avaliarem outros índices existentes.

2.2.1.3. Análise de frequência

Um dos métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas se baseia na análise da distribuição de frequência das vazões adimensionalizadas de cada estação, que consiste na etapa preliminar do método de regionalização da curva adimensional (ANA, 2013d; EUCLYDES et al., 2001). Como princípio, este método considera que as distribuições de frequências das vazões adimensionalizadas das estações em uma região hidrologicamente homogênea são similares. Essa característica permite que, ao se obterem séries transformadas de vazões, as distribuições de frequência dessas séries transformadas sejam similares para as regiões hidrologicamente homogêneas. A transformação das vazões é obtida por meio da equação

$$Q_{ia} = \frac{Q_i}{Q_{med}} \qquad (32)$$

em que

Q_{ia} = vazões adimensionalizadas;

Q_i = vazões máximas ou nínimas observadas, $m^3\ s^{-1}$;

i = ordem do evento de vazão observada; e

Q_{med} = média das vazões observadas, $m^3\ s^{-1}$.

Primeiramente, os valores de vazão (Q_i) são dispostos em ordem decrescente, no caso das vazões máximas, e crescente, no caso das mínimas, assinalando-se suas respectivas ordens (i). Em seguida, calculam-se as probabilidades de ocorrência dos eventos, considerando que as distribuições de frequência das séries de vazões podem representadas por distribuições teóricas de probabilidades, tais como Gumbel (para vazões máximas) ou Weibull (para vazões mínimas) conforme as equações

Gumbel

$$P(Q_{ia}) = \frac{i - 0,44}{N + 0,12} \quad (33)$$

Weibull

$$P(Q_{ia}) = \frac{i}{N + 1} \quad (34)$$

em que

$P(Q_{ia})$ = Probabilidade das vazões de ordem i serem igualadas ou superadas, no caso das máximas, ou de não serem superadas, no caso das mínimas; e

N = número de eventos.

Então, as variáveis reduzidas são calculadas pela equação

$$y_i = -\ln[-\ln(b)] \quad (35)$$

em que y_i é a variável reduzida; e $b = 1 - P(Q_{ia})$ no caso de vazões máximas, ou $b = P(Q_{ia})$ no caso de vazões mínimas.

Assim, o gráfico formado pelos valores de vazões transformadas é uma linha reta, cuja equação pode ser obtida por regressão linear simples a partir do método dos mínimos quadrados, sendo representada por

$$Q_{ia} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 \, y_i \quad (36)$$

em que $\hat{\beta}_0$ e $\hat{\beta}_1$ são os parâmetros do modelo de regressão linear simples estimados pelo método dos mínimos quadrados.

A equação da reta de regressão é ajustada às vazões adimensionalizadas de cada estação. Os parâmetros de ajuste do modelo são estimados pelo método dos mínimos quadrados. Assim, de acordo com este método, as estações que apresentam valores do coeficiente de regressão linear $\hat{\beta}_1$ próximos entre si têm distribuições de probabilidades similares e provavelmente compõem uma região hidrologicamente homogênea. Assim como no método da Conveniência Geográfica, ferramentas computacionais disponíveis atualmente, como o SisCoRV (ANA, 2013d), auxiliam na aplicação deste procedimento.

Destaca-se que este método pode incluir erros associados à subjetividade na comparação entre os coeficientes $\hat{\beta}_1$ das curvas adimensionais a fim de identificar as estações correspondentes a uma região hidrologicamente homogênea. Além disso, este método é dependente unicamente da existência de dados de vazão. Portanto, este método não constitui uma alternativa para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas em situações de escassez ou indisponibilidade de dados de vazão.

Análise de entropia também tem sido utilizada para a avaliação de áreas de transição de regimes hidrológicos e variabilidade da distribuição da precipitação em uma bacia hidrográfica, permitindo tanto a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas quanto o aprimoramento e otimização da locação das estações de monitoramento de dados hidroclimatológicos (GONTIJO JUNIOR; KOIDE, 2012; GUEDES; SOUSA, 2011; SOUSA et al., 2012).

O conceito de entropia é classicamente definido pela 2ª lei da termodinâmica, que caracteriza o grau de desordem interna de um sistema, que reflete uma medida da extensão em que a energia se propaga por toda a matéria macroscópica e sendo emitida para o ambiente (DEMETRIUS, 2013). A entropia no contexto da física estatística, dada pelo teorema H de Boltzmann, foi introduzida por Shannon (1948) na teoria matemática da comunicação, ou da informação (TSALLIS; CIRTO, 2014), sendo calculada pela equação

$$H = -\sum_{i=1}^{K} P_i \log P_i \qquad (37)$$

em que

- H = entropia, cuja unidade pode ser bit, se utilizado o logaritmo de base 2; napiers, ou nats, se logaritmo de base neperiana, e hartley para a base 10;
- P_i = probabilidade de ocorrência de uma variável dentro da classe i, adimensional; e
- K = número de classes (bins).

Pode-se afirmar que a entropia para qualquer variável sempre assume valores positivos dentro do limite $0 \leq H \leq \log K$. Assim, Guedes e Sousa (2011) complementam que, a entropia assume valor máximo quando a distribuição de probabilidade é uniforme, e reduz seu valor a zero quando um particular valor da

variável acontece com probabilidade um, ou seja, quando não há variabilidade ao longo da série.

Gontijo Junior e Koide (2012) definiram três tipos de entropia que podem ser aplicadas a uma rede de estações fluviométricas, que são: entropia própria, entropia associada, e entropia condicional.

A entropia própria, ou marginal, corresponde à informação média associada a uma série hidrológica de uma dada estação de monitoramento, ou seja, é uma medida da variabilidade correspondente a uma série temporal, conforme descrito por Shannon (1948). Complementarmente, Guedes e Sousa (2011) denominaram a entropia própria como intensidade de entropia (IE), e incluíram o conceito de densidade de entropia (DE), que corresponde a uma variação do cálculo da entropia própria levando-se em conta as magnitudes da variável.

A entropia associada, ou conjunta, também dita informação mútua (Mutual Information - MI), é relativa à redundância de informações contida entre as séries de dados, considerando a análise conjunta dessas séries provenientes de duas ou mais estações (HOFFGAARD et al., 2015; PRINESS et al., 2007).

Já a entropia condicional caracteriza a redundância sequencial entre duas séries de dados provenientes de duas estações sequenciais, sendo, portanto, necessária a consideração de sua localização geográfica. Com a entropia condicional, pode-se obter a quantidade de informação transferida entre duas estações (KRASKOV et al. 2005; RAJSEKHAR et al., 2013).

Singh (2011) comenta que, entre as vantagens de se usar a teoria da entropia para medir o grau de aleatoriedade ou desordem na distribuição de uma variável, podem ser citadas: permite combinar informações estatísticas com as leis físicas; permite também derivar diversas equações que descrevem o comportamento de um sistema físico em função do tempo ou do espaço; e as funções contêm parâmetros que podem ser expressos em termos das restrições específicas.

As medidas de informação sobre a distribuição de probabilidade de uma variável que a entropia fornece em suas três formas de aplicação (própria, associada ou condicional), também conferem a ela grande versatilidade de aplicação para medir padrões de distribuição de diversas variáveis hidroclimatológicas, sendo uma medida aplicável a qualquer distribuição de probabilidade, conhecida ou desconhecida (GONTIJO JUNIOR; KOIDE, 2012; SOUSA et al., 2012). Assim, quando um conjunto de estações de monitoramento de determinada região apresentam valores de

IE ou DE próximos entre si, ou com redundância de informações indicadas pelas entropias associada ou condicional, significa que as estações apresentam distribuições de probabilidade similares, e que a região pode ser considerada como homogênea em termos da variável monitorada.

Neste contexto, ressalta-se que a informação gerada pela entropia se refere apenas à variável específica considerada. Portanto, para se considerarem os padrões de comportamento de mais de uma variável por meio da entropia, é necessário aplicá-la a cada variável buscando, posteriormente, a interpretação conjunta dos resultados.

Alternativamente, podem-se utilizar variáveis combinadas por meio de índices relacionais, como vazões equivalentes ao volume precipitado (PRUSKI et al., 2013) e coeficientes de escoamento, ou deságue (PEREIRA et al., 2007). O uso destes índices relacionais permite a análise de entropia, levando-se em conta a combinação das características físicas de uma região com suas variáveis hidroclimatológicas.

2.2.1.4. Híbridos

Neste trabalho, os métodos categorizados como híbridos são aqueles que utilizam em conjunto mais de um dos métodos descritos anteriormente para a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas.

Um exemplo de método híbrido foi aplicado por Euclydes et al. (2001), que utilizou em conjunto um método associado à regionalização de vazões (Conveniência Geográfica) e um método de análise da distribuição de frequência das vazões adimensionalizadas. Segundo estes pesquisadores, os dois métodos são aplicados simultaneamente à área de estudo, e caso os dois métodos apresentem bons resultados com base nas vazões estudadas a região é definida como hidrologicamente homogênea. Caso contrário, a região é subdividida, reiniciando-se o processo de análise, desta vez, aplicando-se novamente os dois métodos a cada sub-região. Sendo assim, este método inclui mesma complexidade, subjetividade e conveniência referentes ao próprio método de regionalização de vazões aplicado com o objetivo identificação de regiões hidrologicamente homogêneas.

Rao e Srinivas (2006) utilizaram análises de agrupamento híbrido, que são uma combinação de métodos de agrupamento hierárquicos e particional. Este autores aplicaram os métodos hierárquicos Single-Linkage, Complete-Linkage e Ward de

forma combinada com o método particional K-means, como alternativa para melhorar o resultado final do agrupamento. Concluíram que o método de agrupamento híbrido envolvendo o Ward e o K-means foi o que produziu resultados mais satisfatórios com relação à otimização da função objetivo para a regionalização de vazões, configurando-se como um bom indicador da homogeneidade da região considerada.

Como outro exemplo de método híbrido também pode ser citado o método de análise da distribuição de frequência aplicado em conjunto com o método de análise de agrupamentos. A combinação entre estes métodos tem sido abordada com a utilização das entropias mútua ou condicional como medidas de distância para fins de análises de agrupamento (KRASKOV et al., 2005). Priness et al. (2007) demonstraram que a utilização direta da entropia mútua como medida de similaridade em análises de agrupamentos, provê melhores resultados do que a correlação de Pearson ou a distância euclidiana.

Em outra aplicação de método híbrido, Rodriguez et al. (2015) evidenciaram que a utilização do método de agrupamento Ward tomando como variáveis a latitude e o índice de desordem baseado na entropia própria (calculada com base nas precipitações mensais), permitiu a definição de regiões homogêneas na região semi-árida brasileira.

Vale destacar que, com exceção dos métodos associados à análise de frequência, todos os demais métodos de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas são aplicados em alguns trabalhos sem considerar o comportamento sazonal, ou seja, adotando-se totais ou médias anuais relacionadas às variáveis hidroclimatológicas.

A sazonalidade pode ser determinante na diferenciação do comportamento hidrológico entre regiões. O trabalho de Beskow et al. (2014), por exemplo, indicou que regiões definidas como hidrologicamente homogêneas em termos de totais ou médias anuais de vazão podem apresentar heterogeneidade de comportamento durante alguns meses do ano.

Portanto, a consideração da sazonalidade, ou da distribuição de frequência de um evento ao longo do ano, na identificação da homogeneidade entre regiões pode ser considerada como um conhecimento importante a ser aprofundado nestes tipos de estudo.

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos métodos de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, os critérios utilizados em cada um, suas principais aplicações e suas limitações.

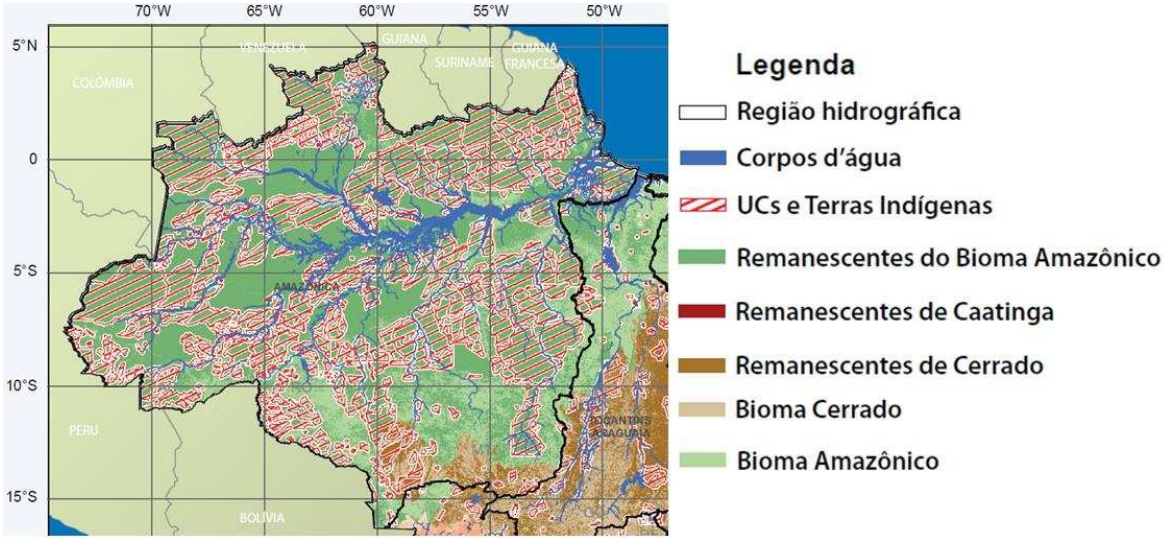
Tabela 4. Resumo dos métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogênea

MÉTODO	CRITÉRIO	APLICAÇÃO	LIMITAÇÃO
Conveniência Geográfica	Análise do ajuste dos modelos de regressão múltipla	Bacias com rede de monitoramento de vazões que permita o ajuste satisfatório de modelos de regionalização	Grande dependência de dados de vazão e de complexidade de aplicação, pois demanda processo de tentativa e erro e subjetividade
Análise de agrupamentos	Minimização da função objetivo representada pela medida das distâncias entre os membros de cada grupo	Versátil - permite considerar diversas características físicas e hidroclimatológicas em conjunto ou individualmente	Subjetividade quanto à distância adotada como limiar (threshold) de aceitação dos agrupamentos
Análise de frequência	Comparação entre as distribuições de probabilidade de ocorrência de determinado evento	Versatilidade moderada - permite considerar diversas características hidroclimatológicas, e conhecer a influência da variabilidade associada	Aplicável a cada variável individualmente e não é aplicável a problemas envolvendo características sem variabilidade temporal
Híbridos	Depende de quais métodos são utilizados em conjunto, assumindo ambos os critérios de cada método	Podem fornecer resultados consistentes e ser ainda mais versátil do que os métodos correspondentes aplicados individualmente	São, geralmente, mais complexos de serem aplicados do que os métodos correspondentes aplicados individualmente

2.3. Região Hidrográfica Amazônica

A Região Hidrográfica Amazônica é formada pela área da bacia hidrográfica amazônica situada em território brasileiro, delimitada pela Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 32/2003 (ANA, 2013a).

A região se estende pelos biomas Amazônia e Cerrado (Figura 3), incluindo a floresta amazônica, que consiste na mais extensa floresta tropical do planeta, com grande variedade de ecossistemas e diversidades biológica e étnica (CAVALCANTI et al., 2009). Por esta razão, observa-se a existência de extensas áreas destinadas a unidades de conservação e a terras indígenas na região.



Fonte: ANA (2013c)

Figura 3 - Abrangência da Região Hidrográfica Amazônica.

Importantes hidrovias do país se localizam nesta região hidrográfica, onde se processa o escoamento de grande parte dos grãos produzidos na região Centro-Oeste, além de servirem de via de importação e exportação de diversos produtos, destacando-se os derivados de petróleo e o minério de ferro, respectivamente (ANTAQ, 2013).

O comportamento da evapotranspiração (ET) na Amazônia tem sido largamente estudado considerando a ET_r equivalente ao fluxo de calor latente (LE). Os valores de LE são observados em estações de medição do tipo torres de fluxo (método eddy covariance), disponíveis em trabalhos relativos ao Experimento de Grande Escala da Biosfera-Atmosfera na Amazônia - LBA (COSTA et al., 2010; SOUZA FILHO et al., 2005).

Os limites hidroclimáticos para a Amazônia são apresentados por Rocha et al. (2009a;b) com base em seis estações do tipo torres de fluxo distribuídas na região. De acordo com estes autores, para as florestas chuvosas equatoriais (ou tropicais úmidas) próximas à latitude 3°S, a média de evapotranspiração mensal é razoavelmente constante durante a estação chuvosa e varia de 2,8 a 3,6 mm d^{-1}, sendo cerca de 10% mais alta na estação seca do que na chuvosa. A estação seca não excede quatro ou cinco meses, a precipitação anual é acima de 1900 mm, e as condições atmosféricas de saldo de radiação e déficit de pressão de vapor são bem correlacionados, exercendo o controle dominante sobre a evapotranspiração.

Já para as florestas tropicais semidecíduas, transicionais e savanas na Amazônia (latitudes em torno de 10^{o}S), onde a extensão da estação seca excede quatro meses e a precipitação anual é abaixo de 1700 mm, Rocha et al. (2009a;b) concluíram que a evapotranspiração tem um padrão sazonal que varia de, aproximadamente, 3 a 4 mm d^{-1} na estação chuvosa e diminui na estação seca a valores mínimos de 2,5 mm d^{-1} na floresta de transição e nas planícies alagáveis, que apresentam áreas de savanas (cerrado) e cerradão, sendo em torno de 1 mm d^{-1} no cerrado sensu stricto (savana localizada em torno de 20^{o}S, já fora da região amazônica). Tal redução em comparação com as florestas tropicais úmidas ocorre devido à limitação da umidade do solo, uma vez que o cerrado típico brasileiro sofre forte variabilidade sazonal no índice de área foliar e na biomassa verde, associado com o declínio da fotossíntese, senescência das folhas de árvores e dormência de gramíneas.

Pode-se dizer ainda que a evapotranspiração é controlada por fatores abióticos/ambientais, especialmente, pelo saldo de radiação na superfície (R_n), nas florestas equatoriais úmidas da Amazônia, uma vez que não existem diferenças significativas nos valores do déficit de pressão de vapor (VPD), condutância aerodinâmica (g_a), e condutância de superfície (g_s) ao longo do ano nestas florestas. Por outro lado, nas florestas sazonalmente mais secas, em latitudes mais ao sul, o controle sazonal da evapotranspiração é feito pela resposta biológica estomática das plantas ao estresse hídrico, considerando uma significativa redução de g_s, que contrabalanceia o expressivo aumento do VPD na estação mais seca nessas regiões (COSTA et al., 2010).

A proporção de evapotranspiração reciclada na bacia amazônica, ou seja, que retorna como precipitação na área da bacia, é estimada em torno de varia de 20% a

27%. Essa reciclagem de precipitação é considerada significativa, e sugere que as interações complexas da biosfera-atmosfera são fortemente influenciadas pelos processos de superfície, especialmente, evapotranspiração, desempenhando um papel significativo no ciclo hidrológico regional, influenciando os padrões espaciais de umidade do solo, a produtividade, e a ocorrência de eventos extremos, tais como enchentes e secas (ROCHA et al., 2009b).

Por outro lado, a grande porcentagem da umidade atmosférica que não é reciclada na região, é transportada para outras localidades do continente. Este deslocamento das massas de ar úmidas formam corredores, conhecidos como rios voadores (flying rivers ou atmospheric rivers), que transportam grandes volumes de água e os distribuem pelo continente (DUBREUIL et al., 2012; MARENGO, 2006; RALPH; DETTINGER, 2011). Portanto, as mudanças no uso e cobertura da terra na Amazônia, assim como eventuais mudanças no clima global que afetem a região, podem alterar as condições atuais de equilíbrio vegetação-clima e o serviço ecossistêmico de regulação climática, não apenas na própria região, mas também em outras regiões do continente sul-americano.

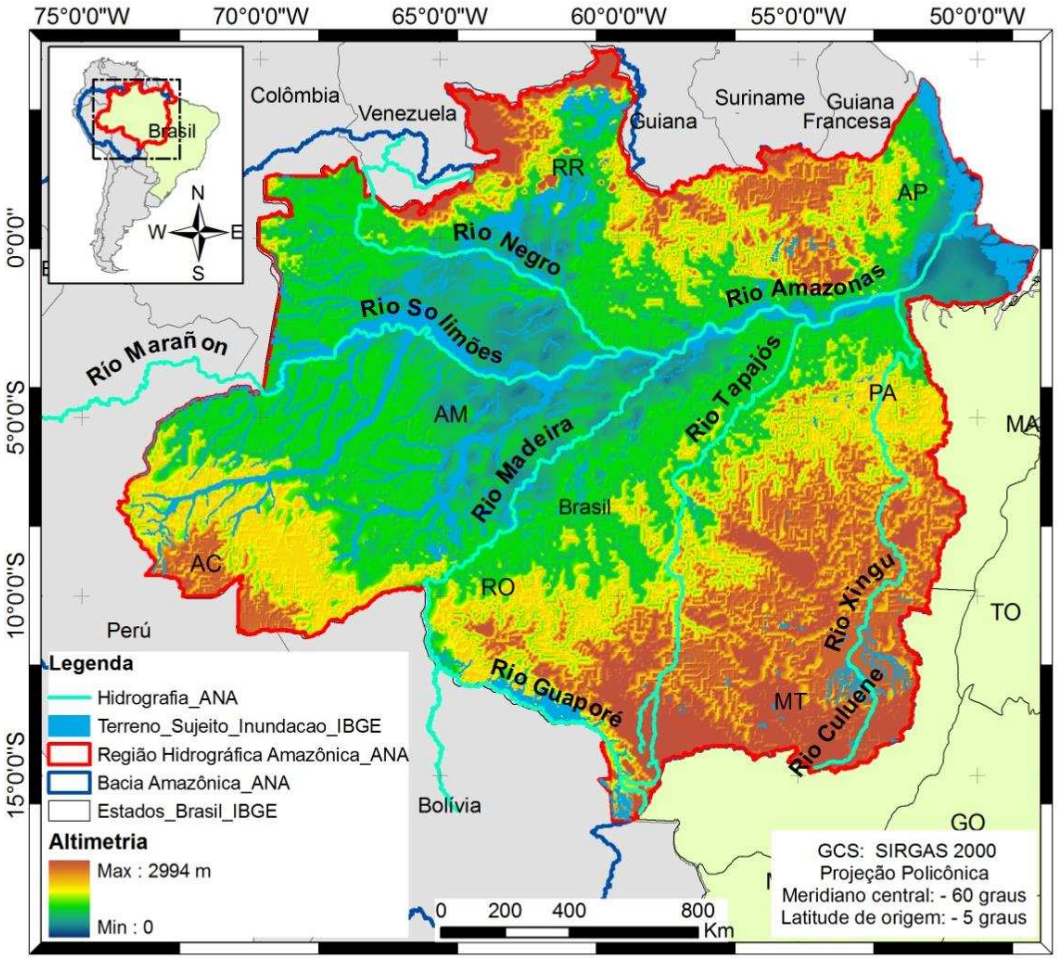
Contudo, as tendências climáticas e hidrometeorológicas na Amazônia, estudadas atualmente por meio de modelos, muitas vezes, são conflitantes. A diversidade de técnicas utilizadas nas análises das séries temporais e a escassez de dados de chuva e de vazões na região são apontadas como as principais limitações que dificultam a observação de tendências de alterações climáticas e de seus impactos (CAVALCANTI et al.; 2009).

Na Amazônia e em qualquer país da América Latina existem obstáculos à implementação de estratégias de adaptação a possíveis mudanças do clima, que incluem: a falta de uma consciência, de compreensão, e da capacidade de tomar decisões, tanto por parte de cientistas quanto de gestores (MARENGO et al., 2013). Sendo assim, a associação das variações sazonais das precipitações com as regiões hidrologicamente homogêneas pode melhorar a consciência, a compreensão e a capacidade de tomada de decisões de forma diferenciada, tanto localmente como regionalmente. Estudos dessa natureza favorecem o planejamento de ações de manejo e conservação de recursos naturais e também de proteção e defesa civil na região Amazônica, reduzindo-se as vulnerabilidades e os obstáculos à adaptação.

3. METODOLOGIA

3.1. Caracterização da Região Hidrográfica Amazônica

Com área total da ordem de 6,1 milhões de km², a bacia hidrográfica amazônica abrange sete estados brasileiros, além de outros seis países da América do Sul (ANA, 2013b). Já a Região Hidrográfica Amazônica (Figura 4), com área total de 3.869.953 km², é formada pela parte da bacia amazônica situada em território brasileiro, incluindo as áreas das bacias hidrográficas existentes na Ilha de Marajó e no Estado do Amapá que deságuam no Oceano Atlântico (ANA, 2013a).



Fontes: ANA (2014b); IBGE (2015).

Figura 4 - Região Hidrográfica Amazônica.

O relevo caracteriza-se como de planície em grande parte da região, predominantemente, ao longo dos seus principais rios, com a ocorrência de extensas áreas sujeitas a inundações. As áreas inundáveis na região Amazônica desempenham importante papel no amortecimento das ondas de cheias, deposição de sedimentos e formação de habitats ecológicos essenciais (HESS et al., 2003), mas são também importantes fontes de emissão global de gás metano (MELACK et al., 2004). Porém, conforme se observa na Figura 4, o norte e o sul da Região Hidrográfica Amazônica são marcados por áreas com altitudes mais elevadas, como o exemplo do planalto das Guianas, ou escudo guianense, que inclui o Monte Roraima no extremo norte da região (Estado de Roraima), com altitudes acima de 2.900 m, e a Chapada dos Guimarães ao sul (Estado do Mato Grosso), com áreas que chegam a altitudes superiores a 1.000 m.

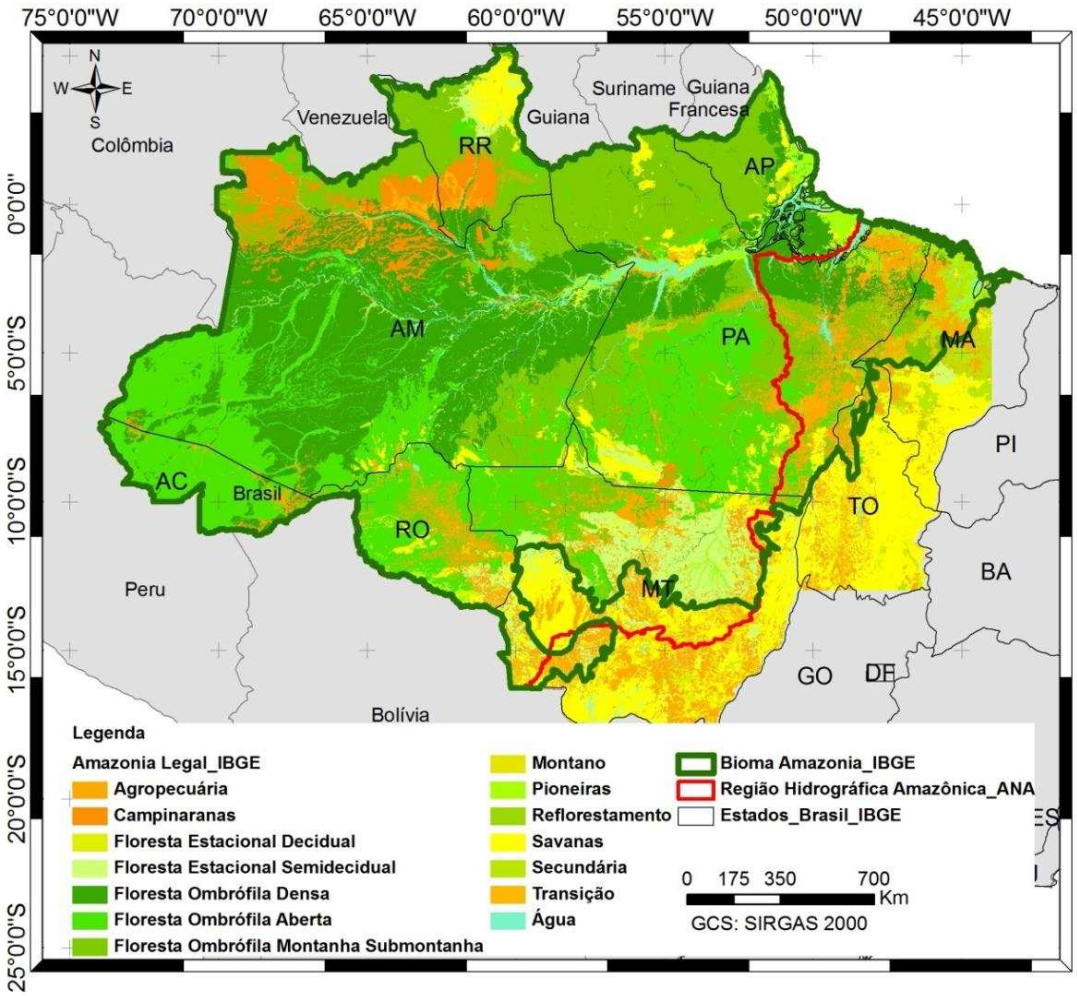
A Região Hidrográfica Amazônica possui precipitação atmosférica anual média de 2.300 mm em toda sua área e vazão média anual em torno de 175.000 $m^3 s^{-1}$ em região próxima à foz da bacia (ANA, 2013c).

A região é marcada por expressiva heterogeneidade espacial e sazonal da pluviosidade (CAVALCANTI et al., 2009). Os maiores totais anuais de precipitação são observados na região da foz do rio Amazonas, próximo ao oceano Atlântico, com precipitação anual superior a 3.000 mm/ano, sob influência da Zona de Convergência Inter Tropical (ZCIT). Na porção intermediária da bacia Amazônica, a qual coincide com o noroeste da Região Hidrográfica Amazônica, as precipitações também são abundantes, mas sob influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) durante o verão austral. As precipitações decrescem a menos de 2.000 mm/ano ao longo dos trópicos no sentido sul da Região Hidrográfica Amazônica. Observa-se também uma redução expressiva das precipitações na região de Roraima, influenciada pelo escudo guianense (ESPINOZA et al., 2009).

Com relação à sazonalidade, ocorre defasagem da ordem de seis meses em relação ao máximo de chuva observado na região norte (junho e julho) e sul (período chuvoso iniciando em dezembro) da bacia amazônica. Por outro lado, estes autores citam que o início e o fim da estação chuvosa na Amazônia deslocam-se gradativamente de sul para norte, sendo que as Temperaturas da Superfície do Mar (TSMs) no Pacífico ou no Atlântico Tropical têm influência intensa no controle do início e do fim da estação chuvosa na região. Comentam inclusive que são observadas variabilidades interanuais nos padrões do início e fim da estação chuvosa,

influenciadas por campos de anomalias de TSMs (CAVALCANTI et al., 2009), como El Niño (ENSO) e La Niña (LNSO).

Trabalhos apontam que estas diferentes condições hidroclimatológicas presentes na região Amazônica têm correlação com a distribuição de sua vegetação (COSTA et al., 2010; ROCHA et al., 2009a;b), de forma que existem diferentes tipos de vegetação na região, incluindo regiões com vegetação característica típicas do bioma Cerrado dentro do bioma Amazônia, conhecidas como savanas amazônicas (AZEVEDO et al., 2014; IBGE, 2004; MAGNUSSON et al., 2008; VIEIRA et al., 2002), entre outros tipos de vegetação e usos do solo (Figura 5).



Fontes: IBGE (2004; 2011; 2015); ANA (2014b)

Figura 5 - Bioma Amazônia, distribuição da vegetação e do uso do solo na Região Hidrográfica Amazônica.

3.2. Identificação das regiões com características similares em termos do comportamento das precipitações mensais

Considerando como objetivo o aprimoramento metodológico para a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas na Região Hidrográfica Amazônica com base na variação das precipitações mensais ao longo do ano, buscou-se, num primeiro momento, utilizar uma base de dados de precipitação consistente e com disponibilidade de informações para a região, permitindo a aplicação e a avaliação do desempenho dos métodos aplicados sem questionamentos sobre a qualidade dos dados utilizados.

3.2.1. Dados utilizados

Utilizou-se a base de dados de precipitações mensais médias de longa duração, correspondentes aos totais mensais médios precipitados no período de 1977 a 2006 disponibilizados para as estações pluviométricas e meteorológicas na região (Figura 6), consideradas na elaboração do Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2014).

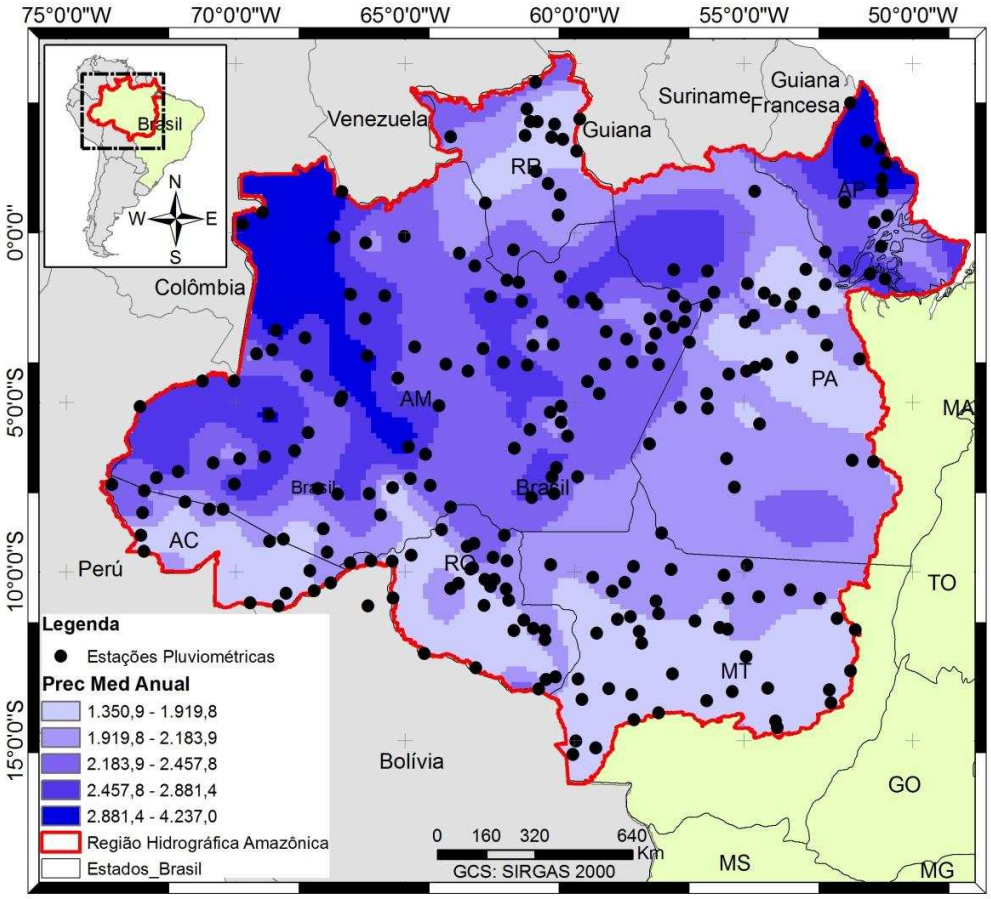


Figura 6 - Estações pluviométricas na Região Hidrográfica Amazônica.

Pode-se observar na Figura 6 a distribuição espacial heterogênea da precipitação total media anual (Prec Med Anual) na região, também disponibilizado no Atlas da CPRM, a qual foi utilizada como base comparativa para a avaliação da distribuição da variação das precipitações mensais ao longo do ano.

Assim, as análises foram realizadas considerando 30 anos dados observados, segundo orientação da Organização Meteorológica Mundial (DOURADO et al., 2013). Destaca-se que estes dados foram previamente consistidos e disponibilizados oficialmente pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), também conhecida como Serviço Geológico do Brasil. Maiores detalhes sobre as estações e os respectivos dados de precipitações mensais utilizados estão disponíveis no ANEXO **I**.

A distribuição da precipitação total anual média de longa duração do Atlas da CPRM foi utilizada como base referencial nos mapas para comparação com a distribuição do comportamento das precipitações mensais ao longo do ano na região.

As precipitações mensais médias de longa duração referentes a estas estações foram utilizadas na aplicação dos métodos existentes já utilizados em outros trabalhos para fins de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas com base no comportamento das precipitações. Na sequência, foi proposto um aprimoramento metodológico para a identificação das regiões com características similares considerando o comportamento das precipitações mensais médias de longa duração ao longo do ano.

3.2.2. Métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas com base no comportamento das precipitações mensais ao longo do ano

Para a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas com base no comportamento das precipitações mensais, primeiramente, testaram-se cinco métodos que permitem a consideração da variação das séries de precipitações mensais ao longo do ano. Considerando-se as vantagens do uso do método Ward em relação aos demais métodos de agrupamento, os dois primeiros métodos aplicados envolveram a análise de agrupamento Ward com diferentes medidas de similaridade/dissimilaridade. Considerando também o uso da entropia como medida do nível de aleatoriedade, os três últimos consistem em métodos híbridos envolvendo

a análise de agrupamento Ward e análise de distribuição de frequência por meio das três formas de entropia (Própria, Densidade de Entropia e Informação Mútua).

3.2.2.1. Análise de agrupamentos

Utilizou-se o método de agrupamento Ward, primeiramente, da forma como normalmente é aplicado, ou seja, tomando-se as precipitações mensais como variáveis no cálculo das distâncias euclidianas, conforme a equação

$$d(X,Y)_{\alpha=2} = \left[\sum_{j=1}^{N} (p_{jX} - p_{jY})^2\right]^{1/2} \quad (38)$$

Portanto, a distância euclidiana, que parte do princípio da distância geométrica entre duas estações (coordenadas Lat e Long), neste caso é utilizada para compor uma distância entre as estações que permita avaliar sua similaridade/dissimilaridade, ou proximidade, quanto à variação das precipitações mensais.

Adicionalmente, foi aplicado o método de agrupamento Ward utilizando a correlação de Pearson como medida de similaridade/dissimilaridade, calculada pela equação

$$d_r(X,Y) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^{N} p_{jX} \times p_{jY}}{\sqrt{\sum_{j=1}^{N} p_{jX}^2 \times \sum_{j=1}^{N} p_{jY}^2}} = 1-r \quad (39)$$

em que

$d_H(X,Y)_{\alpha=2}$ = distância entre as estações X e Y considerando como variável a precipitação mensal média de longa duração (p_j), adimensional; e

r = coeficiente de correlação de Pearson.

A distância baseada na correlação de Pearson parte do princípio de que se duas estações X e Y apresentam precipitações idênticas entre si ao longo do ano, tendo seus dados colocados em um gráfico de dispersão xy, gerará uma reta identidade y = x, com r = 1. Podem acontecer casos em que y = – x (r = – 1), ou seja, seus dados são iguais, porém acontecem em diferentes épocas do ano (correlação linear negativa). Também podem acontecer casos em que y ≠ x (r = 0), sendo, portanto, totalmente diferentes entre si (sem correlação linear). A princípio, assume-

se na comparação entre duas estações, que seus dados são independentes, já que todas as estações, mesmo as mais distantes entre si, são comparadas e podem não apresentar dependência espacial (dados independentes).

Portanto, nestes dois métodos de análise de agrupamentos as precipitações mensais médias de longa duração foram utilizadas diretamente como as variáveis para o cálculo das distâncias, primeiramente a Euclidiana, e depois a de Pearson.

A princípio, assume-se a na comparação entre duas estações, que seus dados são independentes, já que todas as estações, mesmo as mais distantes entre si, são comparadas e podem não apresentar dependência espacial.

Assim, foram compostas as matrizes de distância entre as estações pareadas, sendo aplicado o método de agrupamentos Ward. Dados I, J e Z grupos de objetos contendo, respectivamente, n_I, n_J e n_Z objetos, o método Ward utiliza critério para definição das alturas de separação (h) que se baseia na redução da variância entre os objetos dentro de cada grupo, conforme a equação

$$h_{(I\cup J,Z)} = \sqrt{\frac{(n_I+ n_Z)\, d(I,Z)^2 + (n_J+ n_Z)\, d(J,Z)^2 - n_Z\, d(I,J)^2}{n_I+ n_J+ n_Z}} \qquad (40)$$

em que

$h_{(I\cup J, Z)}$ = altura (height) de separação entre os objetos ou grupos de objetos considerando I e J unidos em um grupo, e Z outro grupo/objeto;

d = distância, ou função de similaridade/dissimilaridade, considerada entre I e Z, entre J e Z, ou entre I e J;

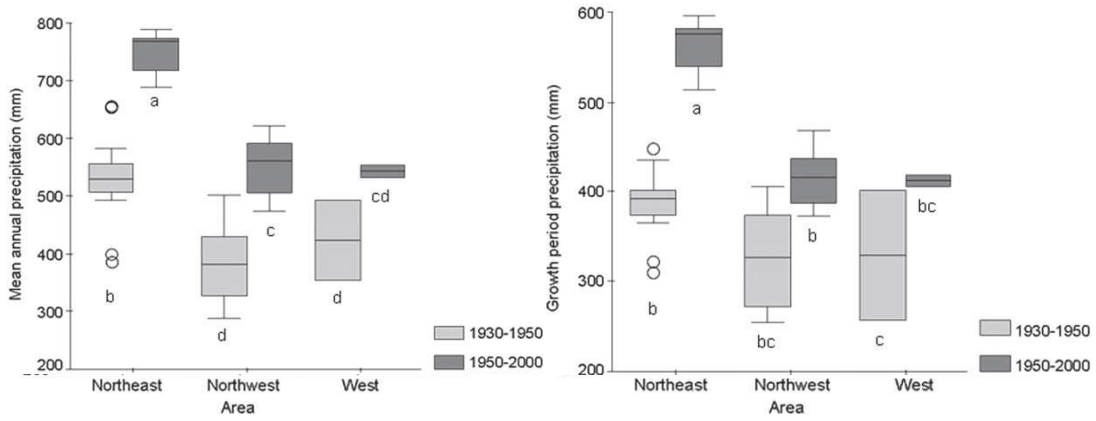
I, J e Z = grupos (clusters), ou objetos a serem agrupados; e

n_I, n_J e n_Z = número de elementos em cada grupo.

A implementação destes procedimentos foi feita no programa R versão 3.0.2 (RFSC, 2013), utilizando, além do pacote ‘cluster’, o pacote estatístico ‘stats’ (cálculo da matriz de correlação de Pearson). Maiores detalhes de implementação dos pacotes estatísticos, das configurações, e dos códigos utilizados no R, estão disponíveis no APÊNDICE A.

Por fim, realizaram-se agrupamentos em quatro, cinco, seis e sete grupos, avaliando-se a qualidade dos grupos formados em cada caso em termos da variação

da magnitude das precipitações mensais ao longo do ano considerando todas as estações pertencentes a cada grupo. Assim, foram estimadas as médias, quartil 1 (25% dos valores), 2 (mediana, ou 50% dos valores observados) e 3 (75% dos valores observados), e amplitude de variação (do mínimo até o máximo valor observado) para as precipitações mensais, com os quais foram montados gráficos box plots, de forma similar ao ilustrado na Figura 7.



Adaptado de: Hoyos et al. (2013).

Figura 7 - Exemplo de análise do comportamento das precipitações para três regiões distintas e em períodos distintos, por meio de box plots.

A partir dos gráficos box plots, verificou-se a associação do comportamento das precipitações mensais às regiões identificadas conforme cada método, permitindo a avaliação do seu desempenho a partir da análise dos gráficos de variação das precipitações mensais dentro de cada região. Os padrões sazonais para as regiões identificadas foram categorizados como: sazonalidade expressiva ($p_{jc} - p_{js} \approx 500$ mm), sazonalidade intermediária ($p_{jc} - p_{js} \approx 300$ mm), sazonal ($p_{jc} - p_{js} \approx 200$ mm), aproximadamente constante ($p_{jc} - p_{js} \approx 100$ mm), em que $p_{jc} - p_{js}$ representa a diferença entre as precipitações mensais médias de longa duração máximas no período chuvoso (p_{jc}) e mínimas no período seco (p_{js}), observadas ao longo do ano.

3.2.2.2. Híbridos

Na análise de distribuição de frequências foram calculadas três formas de entropia: a entropia própria; a densidade de entropia; e a entropia condicional, ou informação mútua.

A entropia própria (H) foi calculada para cada estação pela equação

$$H = -\sum_{i=1}^{K}\left(\frac{f(X_i)}{N}\right)\ \log\left(\frac{f(X_i)}{N}\right) \qquad (41)$$

ou, de forma mais simplificada, pela equação

$$H = -\sum_{i=1}^{K} P(X_i)\ \log\ P(X_i) \qquad (42)$$

em que

H = entropia, cuja unidade pode ser bit se utilizado o logaritmo de base 2; napiers, ou nats, se logaritmo de base neperiana, e hartley para a base 10;

$f(X_i)$ = frequência, ou número de ocorrências, das precipitações mensais da estação X dentro da classe de magnitude i, mm;

N = número de eventos, meses do ano;

$P(X_i)$ = probabilidade de ocorrência das precipitações mensais de uma estação X dentro de cada classe de magnitude i, adimensional; e

K = número de classes considerado na montagem dos histogramas.

Para o cálculo das probabilidades de ocorrência $P(X_i)$ foi definido o número de classes K com base no critério proposto em 1926 por Sturges (RAJSEKHAR et al., 2013), dado pela equação

$$K = 1+\mathrm{Log}_2 n' \qquad (43)$$

em que n’ é o tamanho da amostra relacionada à variável.

Como foram utilizadas as precipitações mensais dos 12 meses do ano, que correspondem a valores médios de um período de 30 anos, o valor de n’ equivale a 360, e o valor de K calculado foi de 9,49. Portanto, adotaram-se nove classes de magnitude dentro do intervalo entre o mínimo (0 mm) e o máximo (682 mm) valor de precipitação mensal entre todas as estações, conforme descrito na Tabela 5.

Tabela 5. Classes de magnitude utilizadas.

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Classe	$p_j \leq 80$	$80 < p_j \leq 160$	$160 < p_j \leq 240$	$240 < p_j \leq 320$	$320 < p_j \leq 400$	$400 < p_j \leq 480$	$480 < p_j \leq 560$	$560 < p_j \leq 640$	$p_j > 640$

em que p_j representa as precipitações mensais médias de longa duração, mm.

A Densidade de Entropia (DE), também obtida para cada estação, foi calculada pela seguinte equação

$$DE = -\sum_{j=1}^{N} \frac{p_j}{p} \log \frac{p_j}{p} \qquad (44)$$

em que

D E = densidade de entropia da estação, adimensional;

p_j = precipitação mensal média de longa duração no mês j, mm;

p = precipitação anual média de longa duração, mm; e

N = número de meses do ano.

Já a informação mútua, que é obtida entre estações, foi calculada pelas equações

$$H(X,Y) = \sum_{i}^{K} P(X_i,Y_i) \log P(X_i,Y_i) \qquad (45)$$

$$MI(X,Y) = \sum_{i}^{K} P(X_i,Y_i) \log \frac{P(X_i,Y_i)}{P(X_i)\,P(Y_i)} = H(X)+H(Y) - H(X,Y) \qquad (46)$$

em que

H(X) = entropia própria, ou marginal, relativa à estação X, adimensional;

H(Y) = entropia própria, ou marginal, relativa à estação Y, adimensional;

H(X,Y) = entropia associada, ou conjunta, entre as estações X e Y, adimensional;

MI(X,Y) = informação mútua entre as estações X e Y, adimensional;

$P(X_i,Y_i)$ = probabilidade conjunta de ocorrência das precipitações mensais das estações X e Y dentro de cada classe de magnitude i, adimensional;

$P(X_i)$ = probabilidade de ocorrência das precipitações mensais de uma estação X dentro de cada classe de magnitude i, adimensional; e

$P(Y_i)$ = probabilidade de ocorrência das precipitações mensais de uma estação Y dentro de cada classe de magnitude i, adimensional.

Assim, nestes três métodos as precipitações mensais foram utilizadas primeiramente para o cálculo da entropia própria (H) e da densidade de entropia (DE) para cada estação, e da informação mútua (MI) entre as estações. Na sequência, estas diferentes entropias foram utilizadas como variáveis no cálculo das distâncias entre as estações.

Nos casos da entropia própria (H) e da Densidade de Entropia (DE) foi utilizada a distância euclidiana como medida de similaridade/dissimilaridade, conforme as equações

$$d_H(X,Y)_{\alpha=2} = \left[(H_X - H_Y)^2\right]^{1/2} \quad (47)$$

$$d_{DE}(X,Y)_{\alpha=2} = \left[(DE_X - DE_Y)^2\right]^{1/2} \quad (48)$$

em que

$d_H(X,Y)_{\alpha=2}$ = distância euclidiana entre as estações X e Y considerando a variável H, adimensional; e

$d_{DE}(X,Y)_{\alpha=2}$ = distância euclidiana entre as estações X e Y considerando a variável DE, adimensional.

Para a informação mútua (MI), foi utilizada a medida de distância relativa (KRASKOV et al. 2005), dada pela equação

$$d_{MI}(X,Y) = 1 - \frac{MI(X,Y)}{H(X,Y)} \quad (49)$$

em que $d_{MI}(X,Y)$ é a distância (medida de similaridade/dissimilaridade) dada pela informação mútua.

Assim, foram compostas as matrizes de distância entre as estações pareadas, sendo aplicado o método de agrupamentos Ward, conforme equação 35.

Para a aplicação destes três métodos, além do pacote ‘cluster’, foram utilizados os pacotes estatísticos ‘entropy’ (cálculo da entropia própria) e ‘BioPhysConnectoR’ (cálculo da matriz de distâncias com base na entropia/informação mútua), do programa R versão 3.0.2 (RFSC, 2013), cujas rotinas também estão disponíveis no APÊNDICE A.

Por fim, procedeu-se à associação do comportamento da precipitação às regiões identificadas conforme cada método para a avaliação do seu desempenho a partir da análise dos gráficos box plots, como feito anteriormente para os métodos de análise de agrupamentos.

3.2.3. Aprimoramento metodológico

Diante das limitações dos métodos existentes para a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, buscou-se aprimorar um procedimento metodológico específico para a identificação de regiões homogêneas em termos do comportamento das precipitações mensais ao longo do ano.

As questões sobre como e onde ocorrem as precipitações mensais ao longo do ano, além do desenvolvimento de critérios técnicos objetivos para a definição e delimitação das regiões hidrologicamente homogêneas, balizaram o aprimoramento metodológico.

A questão sobre como ocorrem as precipitações mensais é relacionada à identificação dos padrões de variação ao longo do ano. Os padrões de variação podem ser sazonais, com os valores mínimos acontecendo em determinada época do ano, ou constantes ao longo do ano. Podem, ainda, ocorrer padrões de variação similares, mas com magnitudes diferenciadas para cada região, sendo necessária a identificação destas especificidades para a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas com base na variação das precipitações mensais ao longo do ano.

Já a questão sobre onde ocorrem se relaciona à distribuição espacial dos padrões de variação das precipitações mensais para a identificação de regiões homogêneas.

Por fim, diante dos elementos de subjetividade presentes nos métodos existentes, conforme apontado em diversos trabalhos estabeleceram-se critérios técnicos para definição e delimitação das regiões, visando conferir maior objetividade ao processo de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas pelo método aprimorado.

3.2.3.1. Identificação da variação das precipitações mensais ao longo do ano

Para responder a esta questão a entropia aplicada à teoria matemática da informação permite medir o grau de aleatoriedade, ou desordem, na distribuição de uma variável (SINGH; 2011). Assim, podem ser identificados, para cada estação, os padrões constantes e os padrões sazonais de comportamento das precipitações mensais ao longo do ano. No entanto, para responder sobre a magnitude com a qual determinado grau de aleatoriedade ocorre, desenvolveu-se no presente trabalho um novo conceito, a entropia indexada (Hi), calculada pela equação

$$Hi = \sum_{i=1}^{K} [P(X_i)+i] \ \log \ \left[P(X_i)+i^i\right] \qquad (50)$$

em que

Hi = entropia indexada de acordo com cada classe i, cuja unidade também pode ser bit, napiers ou hartley;

K = número de classes considerado na montagem dos histogramas; e

$P(X_i)$ = probabilidade de ocorrência das precipitações mensais de uma estação X dentro de cada classe de magnitude i, adimensional.

A entropia indexada consiste na alteração na forma de se calcular a entropia própria, com a inclusão do fator indexador da classe de magnitude (i). A adição do fator indexador (i) no cálculo da entropia produz os seguintes efeitos: (1) a entropia indexada assume seu menor valor [2*log 2 = 0,6] quando o menor valor da série ocorre com probabilidade 1, e assume seus maiores valores quando a sazonalidade é proeminente; (2) os valores de $[(1+i)*\log(1+i^i)]$ ocorrem quando cada valor da série, relativo à cada classe (i), acontece com probabilidade 1, sendo, portanto, diferenciados de acordo com a magnitude, o que só é possível com a operação de adição; e (3) os valores da entropia indexada se diferenciam expressivamente entre si em função do índice (i^i) incluído no logaritmo, considerando a variação tanto da magnitude quanto da sazonalidade com que a variável ocorre. A entropia fica então indexada à cada classe de magnitude (i), preservando a influência da magnitude com a qual determinado grau de aleatoriedade ocorre. O objetivo deste artifício é permitir a individualização dos grupos de estações com mesma distribuição de probabilidade, o quê responde se a distribuição é sazonal ou constante, e inclui a distinção entre as magnitudes com que as precipitações mensais ocorrem ao longo do ano.

O cálculo das probabilidades de ocorrência $p_{i,}$, neste caso, também foi feito com base nas nove classes de magnitude adotadas para as entropias própria e condicional, conforme apresentado na Tabela 5.

Resta ainda responder sobre a época em que ocorrem os valores mínimos de precipitações mensais, para diferenciação entre sazonalidades que ocorram com o mesmo grau de aleatoriedade e de magnitude, porém com os mínimos ocorrendo em épocas distintas. A resposta esta questão baseou-se na adoção da variável “m”, correspondente ao mês do ano em que ocorrem as precipitações mensais mínimas em

cada estação. Assim, a adoção da variável "m" em conjunto com "Hi" teoricamente permite a diferenciação entre as estações pluviométricas levando em conta a magnitude, a ocorrência ou não de sazonalidade (aleatoriedade), e a época do ano em que ocorrem os valores mínimos de precipitações mensais.

A forma de tratar conjuntamente as informações "Hi" e "m" das estações pluviométricas é apresentada na próxima questão a ser respondida para a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas em termos do comportamento das precipitações mensais ao longo do ano.

3.2.3.2. Distribuição espacial do comportamento das precipitações mensais

Para responder esta questão, foi aplicado o método de análise de agrupamento Ward, com o uso da distância euclidiana como medida de similaridade/dissimilaridade.

O pacote estatístico 'cluster', do programa R versão 3.0.2 (RFSC, 2013), foi utilizado para o cálculo das matrizes de distância, a construção dos dendogramas e a individualização dos grupos pelo método Ward.

Na análise de agrupamento Ward foram considerados os valores de "Hi" e de "m" de cada estação como sendo as variáveis para o cálculo das distâncias euclidianas. Portanto, consistiu em um método híbrido, com a combinação entre análise de frequência, por meio do novo conceito de "Hi" desenvolvido, e o método de agrupamento Ward, incluindo a variável "m" na análise.

Considerando que as variáveis "Hi" e "m" apresentam unidades e escalas diferentes, o quê pode interferir no resultado da análise de agrupamentos (DINIZ et al., 2012; GOYAL; GUPTA, 2014), procedeu-se a padronização/normalização destas variáveis antes da aplicação do método de agrupamento (ELESBON et al., 2015; HALL; MINNS, 1999; MELO JÚNIOR et al., 2006), por meio da equação

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s} \qquad (51)$$

em que

z_i = valor da variável x_i normalizado para os dados de uma estação ou ponto amostral i, adimensional;

$\bar{x}$ = média do valor da variável, unidade de medida da variável; e

s = desvio padrão da variável, unidade de medida da variável.

3.2.3.3. Critérios para a definição e delimitação das regiões

O critério para a definição do número de agrupamentos (clusters) representativos das regiões hidrologicamente homogêneas foi definido com base na estimativa da altura "h" (height) para a qual o número de agrupamentos formado atende a critérios físicos pré-estabelecidos, relacionados à magnitude, sazonalidade e ao mês de ocorrência do valor mínimo de precipitação mensal.

O cálculo de "h" pelo método Ward no programa R versão 3.0.2 é feito a partir da fórmula de Lance-Williams (MAECHLER et al., 2015; MURTAGH; LEGENDRE, 2011), dada pela equação

$$h\,(I \cup J,Z) = \alpha_1\, d(I,Z)^2 + \alpha_2\, d(J,Z)^2 + \beta\, d(I,J)^2 + \gamma |d(I,Z) - d(J,Z)| \qquad (52)$$

em que $\alpha_1 = \frac{(n_I + n_Z)}{n_I + n_J + n_z}$ $\alpha_2 = \frac{(n_J + n_Z)}{n_I + n_J + n_z}$ $\beta = -\frac{n_Z}{n_I + n_J + n_z}$ $\gamma = 0$

Considerando d(I,Z), d(J,Z) e d (I,J) como sendo as distâncias euclidianas entre os grupos/elementos I, J e Z, e tomando-se os valores padronizados de "Hi" e "m" variáveis, tem-se que

$$d(z_i,z_j)_{\alpha=2} = \left[\left(\frac{Hi_i - \overline{Hi} - Hi_j + \overline{Hi}}{s_{Hi}}\right)^2 + \left(\frac{m_i - \bar{m} - m_j + \bar{m}}{s_m}\right)^2\right]^{1/2} = \left[\left(\frac{\Delta Hi}{s_{Hi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{s_m}\right)^2\right]^{1/2} \qquad (53)$$

Substituindo 53 em 52, tem-se que

$$h = \frac{(n_I + n_Z)\left[\left(\frac{\Delta Hi_{(I,Z)}}{s_{Hi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{(I,Z)}}{s_m}\right)^2\right] + (n_J + n_Z)\left[\left(\frac{\Delta Hi_{(J,Z)}}{s_{Hi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{(J,Z)}}{s_m}\right)^2\right] - n_Z\left[\left(\frac{\Delta Hi_{(I,J)}}{s_{Hi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m_{(I,J)}}{s_m}\right)^2\right]}{(n_I + n_J + n_z)} \qquad (54)$$

O número de elementos em cada grupo funciona como fator de ponderação, com pouca influência na estimativa de "h", permitindo, portanto, a consideração de $n_I = n_J = n_Z = 1$. Além disso, adotando-se $\Delta Hi_{(I,Z)} = \Delta Hi_{(J,Z)} = \Delta Hi_{(I,J)}$, e $\Delta m_{(I,Z)} = \Delta m_{(J,Z)} = \Delta m_{(I,J)}$, a equação 46 reduz-se a

$$h = \left[\left(\frac{\Delta Hi}{s_{Hi}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta m}{s_m}\right)^2\right] \qquad (55)$$

Assim, a estimativa do valor de "h" fica dependente apenas dos valores dos desvios padrão s_{Hi} e s_m – constantes calculadas a partir dos valores de "Hi" e de "m" obtidos para todas as estações – e dos valores de ΔHi e de Δm, que variam com características desejadas para o comportamento físico da série. Com isso, pode-se assumir que os grupos contenham amplitude de variação que não exceda

determinado número de classes de magnitude – critério definido pelo ΔHi – e cujo intervalo de meses em que ocorre o valor mínimo não exceda determinado tamanho – critério definido pelo Δm – permitindo a estimativa do valor de "h" com base nestas premissas técnicas.

Para a determinação dos valores de "Hi" objetivando o calculo do ΔHi, realizaram-se 15 simulações (APÊNDICE B) variando a distribuição de probabilidade dentro das nove classes de magnitude de precipitação pré-estabelecidas (Tabela 5).

Primeiramente, adotou-se um critério permissivo para a estimativa de "h", considerando a aceitação de elementos dentro do mesmo grupo cuja magnitude de precipitação pode variar entre as classes de magnitude 1 e 5 e a diferença no período de ocorrência das mínimas seja no máximo de até cinco meses. Na sequência, foram testados critérios menos permissivos, avaliando-se a qualidade dos grupos formados a cada teste até que se chegasse a características aceitáveis em termos do comportamento da precipitação dentro de cada grupo.

Após o agrupamento das estações pluviométricas, e assinalado o grupo a qual cada estação pertence, o critério para a delimitação das regiões identificadas baseou-se na área de influência das estações, delineadas com base nas distâncias euclidianas considerando suas localizações geográficas. Para isso, utilizou-se a ferramenta Euclidean Allocation do pacote Spatial Analyst, do ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014) para a espacialização dos números dos grupos formados (1, 2, 3,...), permitindo o traçado das linhas representativas dos contornos das regiões pelo comando Contour. Este procedimento também pode ser realizado com base nos polígonos de Thiessen, gerando-se exatamente os mesmos resultados para as áreas de influência das estações e contorno das regiões.

A análise por meio dos box plots também foi utilizada na associação do comportamento da precipitação às regiões identificadas do método aprimorado, sendo também identificados os padrões de sazonalidade expressiva (p_{jc}-p_{js} ≈ 500 mm), sazonalidade intermediária (p_{jc}-p_{js} ≈ 300 mm), sazonal (p_{jc}-p_{js} ≈ 200 mm), aproximadamente constante (p_{jc}-p_{js} ≈ 100 mm).

Adicionalmente, avaliaram-se os valores de amplitude máxima, distância interquartil máxima e distância máxima entre a média e a mediana entre todos os grupos formados pelo método aprimorado e pelos demais métodos, para comparar

sua eficiência no agrupamento de estações similares em termos da variação das precipitações mensais ao longo do ano.

Com a amplitude máxima se avaliou a capacidade dos métodos em agrupar estações cujos valores de precipitações mensais dentro de determinado grupo são mais próximos entre si, ou seja, com maior similaridade.

A distância interquartil máxima foi usada para avaliar se 50% dos valores de precipitações mensais dentro de determinado grupo estão concentrados próximos ao valor mediano, podendo ainda ocorrerem valores discrepantes que levem ao deslocamento da média em relação à mediana, a qual foi avaliada com base na distância máxima entre a média e a mediana. Com isso, buscou-se avaliar comparativamente a qualidade dos grupos formados pelos métodos empregados com os resultados do método aprimorado.

3.2.4. Análise dos métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e do aprimoramento metodológico em relação ao comportamento hidroclimatológico e aos aspectos ambientais

3.2.4.1. Análise em relação ao comportamento hidroclimatológico

Analisaram-se os aspectos hidroclimatológicos dentro de cada uma das regiões hidrologicamente homogêneas identificadas, a fim de verificar o desempenho dos métodos em relação à caracterização destas regiões.

A avaliação dos aspectos hidroclimatológicos foi feita em termos da análise do comportamento da evapotranspiração de referência (ET_0) e das vazões específicas médias de longa duração (q_{mld}), ambas estimadas em base mensal.

A opção pela utilização da ET_0 no presente estudo se deu pelas seguintes considerações: (1) escassez de dados observados de evapotranspiração real (ET_r) no período base considerado (1977-2006), com poucas estações de observação existentes na região (COSTA et al., 2010; ROCHA et al., 2009a); (2) as dimensões da área de estudo e do período base impõem a necessidade de capacidades de armazenamento e de processamento expressivas para a estimativa da ET_r com base em imagens de satélite, as quais também possuem limitações de dados em escalas espacial e temporal (CHEN et al. 2014; TEIXEIRA et al. 2015); (3) para a estimativa da ET_0 existe um número considerável de estações meteorológicas na região com disponibilidade de dados inclusive para o período base; (4) a análise da variação da

ET_0 complementa a análise dos aspectos hidroclimatológicos nas regiões hidrologicamente homogêneas, uma vez que sua estimativa leva em conta importantes variáveis climáticas, tais como temperatura, velocidade do vento e umidade do ar.

Assim, as ET_0 mensais foram estimadas a partir dos dados diários de insolação, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade média do vento, além da latitude e altitude, provenientes dos bancos de dados das estações meteorológicas existentes na região operadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2014). Aplicou-se o método de Penman-Monteith parametrizado pela Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (ALLEN et al., 1998; BORGES JÚNIOR et al., 2012; CONCEIÇÃO, 2006), representado pela equação

$$ET_0 = \frac{0{,}408\,\Delta\,(R_n - G) + \gamma\,\frac{900}{T_{med}+273}\,U_2\,(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma\,(1 + 0{,}34\,U_2)} \qquad (56)$$

em que

ET_0 = evapotranspiração de referência, mm d^{-1};

Δ = declividade da curva de pressão de vapor na saturação versus temperatura do ar, kPa $°C^{-1}$;

R_n = saldo de radiação na superfície, MJ m^{-2} d^{-1};

G = densidade de fluxo de calor no solo, MJ m^{-2} d^{-1};

γ = constante psicrométrica, kPa $°C^{-1}$;

T_{med} = temperatura média do ar tomada a 2 m de altura, °C

U_2 = velocidade do vento a 2 m de altura, m s^{-1};

e_s = pressão de vapor na saturação, kPa; e

e_a = pressão de vapor atual, kPa.

Como a densidade de fluxo de calor no solo (G) não é medida nestas estações meteorológicas, esta variável foi considerada nula devido a seu baixo valor em comparação com as demais variáveis utilizadas no cálculo da ET_0, conforme explica Conceição (2006).

Devido à baixa densidade de estações meteorológicas na Região Hidrográfica Amazônica, as ET_0 mensais foram estimadas para as localidades das estações puviométricas, de forma similar ao trabalho de Rodriquez et al. (2015).

Na interpolação das ET_0 foi utilizado o método de Kriging, ou krigagem, que se destaca em relação aos demais métodos de espacialização de variáveis hidroclimatológicas (GOOVAERTS, 2000; VILANOVA et al., 2012) por considerar a distância estatística (auto-correlação) entre os pontos amostrais de forma que as estimativas sejam não viesadas (GOOVAERTS, 1997). Assim, aplicou-se o processo da krigagem ordinária, o qual considera a dependência espacial existente entre os valores observados em estações próximas, avaliando-se: o tamanho e o formato (isotropia/anisotropia) da vizinhança de busca; o modelo de semivariograma teórico que melhor se ajusta ao comportamento das semivariâncias empíricas; além da validação da interpolação realizada (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

Como as estações estão irregularmente distribuídas na Região Hidrográfica Amazônica, o tamanho da vizinhança de busca foi definido como sendo maior que o espaçamento médio entre as estações, o qual é calculado pela equação

$$\hat{m}_E = \sqrt{\frac{A_p}{n}} \qquad (57)$$

em que

$\hat{m}_E$ = espaçamento médio entre os pontos amostrados;

A_p = área total compreendida pelos pontos amostrados; e

n = número total de pontos amostrais.

O cálculo das semivariâncias dos pontos amostrais para diferentes distâncias de separação h_{lag} (GOOVAERTS, 1998; 2000), foi feito por meio da equação

$$\hat{\gamma}(h_{lag}) = \frac{1}{2N(h_{lag})} \sum_{\alpha=1}^{N(h_{lag})} [z(u_\alpha) - z(u_\alpha + h_{lag})]^2 \qquad (58)$$

em que

$\hat{\gamma}(h_{lag})$ = semivariância;

$N(h_{lag})$ = números de pares de dados para determinada distância h_{lag};

h_{lag} = distância de separação entre dois pontos na análise de semivariância;

$z(u_\alpha)$ = valores observados nos pontos amostrais $\alpha = 1, 2, ..., n$; e

u_α = vetor das coordenadas dos pontos amostrais.

Com estes valores foram montados os semivariogramas empíricos, ou amostrais, com os valores de semivâriancia no eixo das ordenadas e os valores de h_{lag}

no eixo das abscissas.

No processo da krigagem ordinária, foram avaliados entre os modelos de semivariogramas teóricos: linear, exponencial, esférico, gaussiano, além de outros modelos positivo-definidos, aquele que melhor se ajustou ao semivariograma empírico, para a realização da interpolação. De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), estes modelos de semivariância teórica podem ser representados, de forma geral, pela equação

$$\hat{\gamma}(h_{lag}) = \begin{cases} 0 & \text{se } |h_{lag}| = 0 \\ C_0 + C_1\left(1 - \exp\left(\dfrac{-3|h_{lag}|}{a}\right)\right) & \text{se } |h_{lag}| > 0 \end{cases} \quad (59)$$

em que

C_0 = parâmetro conhecido como efeito pepita, que representa a descontinuidade que ocorre na origem do semivariograma;

$C_0 + C_1$ = parâmetro conhecido como patamar, que representa o valor máximo do semivariograma, por ocorrer para grandes distâncias de separação h_{lag};

a = parâmetro conhecido como alcance, que representa a distância h_{lag} além da qual o semivariograma atinge o valor máximo e permanece constante, ou seja, quando atinge o patamar.

Considerando também baixa densidade de estações meteorológicas, aplicou-se o método da validação cruzada, no qual o conjunto de estações foi utilizado tanto para a interpolação quanto para a análise de erros entre valores estimados e os valores observados. Esta análise de erros foi utilizada para a escolha dos modelos de interpolação que melhor se ajustam à distribuição espacial dos valores de ET_0. Escolhido o modelo de distribuição espacial melhor ajustado à distribuição (com menores valores de soma do quadrado médio dos resíduos), selecionaram-se os valores de ET_0 de cada mês estimados pelo modelo localizados nos pontos das estações pluviométricas. Assim, cada estação pluviométrica, além das precipitações mensais, passou a contar também com valores de ET_0 mensais.

As interpolações pelo processo de krigagem ordinária e a validação das estimativas foram feitas com o auxílio das ferramentas do pacote Geostatistical Analyst do ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2014).

As vazões específicas médias de longa duração (q_{mld}) foram estimadas em base mensal utilizando os dados diários de vazão das séries históricas de medição nas estações fluviométricas operadas pela ANA, disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas - Hidroweb (ANA, 2014a).

Os critérios de seleção das estações fluviométricas foram: áreas de drenagem de tamanho que possibilite a representação do comportamento em escalas regionais; inexistência de estruturas que interferem no comportamento das vazões, tais como reservatórios ou transposições; e mais de 20 anos de dados disponíveis e sem falhas, dentro do mesmo período base utilizado para os dados pluviométricos e meteorológicos (1977-2006).

Utilizou-se o Sistema Computacional para Análises Hidrológicas - SisCAH 1.0 (SOUSA et al., 2009) para a geração do diagrama de disponibilidade de dados para a seleção das estações e para o cálculo das vazões médias de longa duração (Q_{mld}) em base mensal. Assim, foram calculadas as vazões específicas médias em base mensal por meio da equação

$$q_{mld} = \frac{Q_{mld} * 10^9}{A} \qquad (60)$$

em que

q_{mld} = vazão específica média de longa duração, L s^{-1} km^{-2};

Q_{mld} = vazão específica média de longa duração, m^3 s^{-1}; e

A = área de drenagem da estação, m^2.

3.2.4.2. Análise em relação a aspectos ambientais

Adicionalmente, analisaram-se os aspectos ambientais considerando as regiões homogêneas identificadas pelos métodos. Esta análise levou em conta a topografia, considerando os dados topográficos apresentados na Figura 4, e a abrangência do bioma Amazônia, assim como a distribuição da vegetação e do uso do solo na Região Hidrográfica Amazônica, com base nos dados georeferenciados apresentados na Figura 5.

Com relação à topografia, foram analisadas as predominâncias de áreas acidentadas, transição de áreas montanhosas para áreas planas, além da presença de formações de altitudes relativamente expressivas, em cada uma das regiões

individualizadas, com a finalidade de verificar sua influência nos processos hidroclimatológicos observados.

O aspecto ambiental relacionado à distribuição da vegetação e usos do solo buscou a caracterização das regiões hidrologicamente homogêneas individualizadas e a associação destas características com o comportamento hidroclimatológico observado nestas regiões de acordo com os métodos empregados.

A análise desses aspectos ambientais se baseou nos mapas produzidos e disponibilizados oficialmente pelo IBGE, utilizando-se a projeção cartográfica Policônica, recomendada para mapas em escalas pequenas (CONCAR, 2009). Esta projeção foi compatibilizada para o sistema de coordenadas geográficas SIRGAS 2000, considerando o meridiano central -60^{o} e Latitude de origem -5^{o}, ou seja, centralizada para a área de estudo. Assim, buscou-se manter a compatibilidade com as projeções já utilizadas nos mapas do IBGE para grandes áreas, garantindo-se as menores distorções quanto às distâncias e as áreas calculadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Identificação das regiões com características similares em termos do comportamento das precipitações mensais

Neste item são apresentados, primeiramente, os resultados dos cinco métodos para fins de identificação de regiões hidrologicamente homogêneas que permitem considerar o comportamento das precipitações mensais ao longo do ano.

Os dois primeiros métodos consistem em métodos de análise de agrupamentos pelo método Ward com diferentes medidas de similaridade/dissimilaridade. O primeiro método considera as precipitações mensais médias de longa duração como variáveis para o cômputo das distâncias euclidianas entre as estações a fim de agrupá-las pelo método Ward. O segundo método toma como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson, analisando-se, portanto, a correlação das séries de precipitações mensais entre estações a fim de agrupá-las. Já os três últimos são métodos híbridos que envolvem análise de distribuição de frequência, por meio de três formas de entropia, aplicadas em conjunto com a análise de agrupamento pelo método Ward com a distância euclidiana como medida de similaridade/dissimilaridade.

Os resultados da aplicação de cada método são apresentados na forma de mapas, com a distribuição da precipitação anual como base comparativa, e a distribuição espacial das estações pluviométricas, identificadas de acordo com o grupo a qual pertencem, segundo o método empregado.

Os gráficos box plots que acompanham os mapas, além das médias (pontos laranjas) das precipitações mensais em cada mês do ano, incluem também as medianas (pontos negros), quartis 1 e 3 (respectivamente, os limites inferiores e superiores dos box plots), e a amplitude de variação (área cinza nos gráficos). Estas medidas permitem observar a variabilidade do comportamento das precipitações mensais considerando as “n” estações pertencentes a cada grupo.

Por fim são apresentados os resultados do método aprimorado, também utilizando os mapas e os gráficos box plots, incluindo a avaliação do desempenho e demais análises, conforme descrito na metodologia.

4.1.1. Métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas com base no comportamento das precipitações mensais ao longo do ano

4.1.1.1. Análise de agrupamentos

Na Figura 8 é apresentado o resultado do agrupamento das estações em sete grupos utilizando o método de análise de agrupamento pelo método Ward com a distância euclidiana como medida de similaridade/dissimilaridade tomando as precipitações mensais como variáveis.

Conforme se observa no mapa, este método permitiu o agrupamento das estações próximas entre si, ocorrendo apenas alguns pontos dispersos (estações dentro de um grupo, mas que, segundo o método, pertencem a outro grupo). Este fato corrobora o princípio da geoestatística que pressupõe a dependência espacial entre os pontos amostrais (GOOVAERTS, 2000). Significa a adoção da premissa de que as estações próximas tendem a apresentar maior similaridade entre si em termos do comportamento das precipitações mensais ao longo do ano do que as estações distantes.

O padrão eminentemente agrupado entre as estações permitiu o estabelecimento das linhas de delimitação das regiões cujos grupos de estações foram predominantes, considerando as distâncias euclidianas pelo método Euclidean Allocation.

A análise dos gráficos box plots permitiu observar a variabilidade intra-anual do comportamento das precipitações mensais médias de longa duração dentro de cada região individualizada a cada agrupamento realizado em quatro, cinco e seis grupos, optando-se, por fim, pelo agrupamento em sete grupos (Figura 8), considerando que neste nível de agrupamento as amplitudes de variação das precipitações mensais são menores, e as distribuições em termos das médias, medianas e dos quartis 1, 2 e 3 mostram que os grupos formados não apresentam estações com comportamento discrepante entre si.

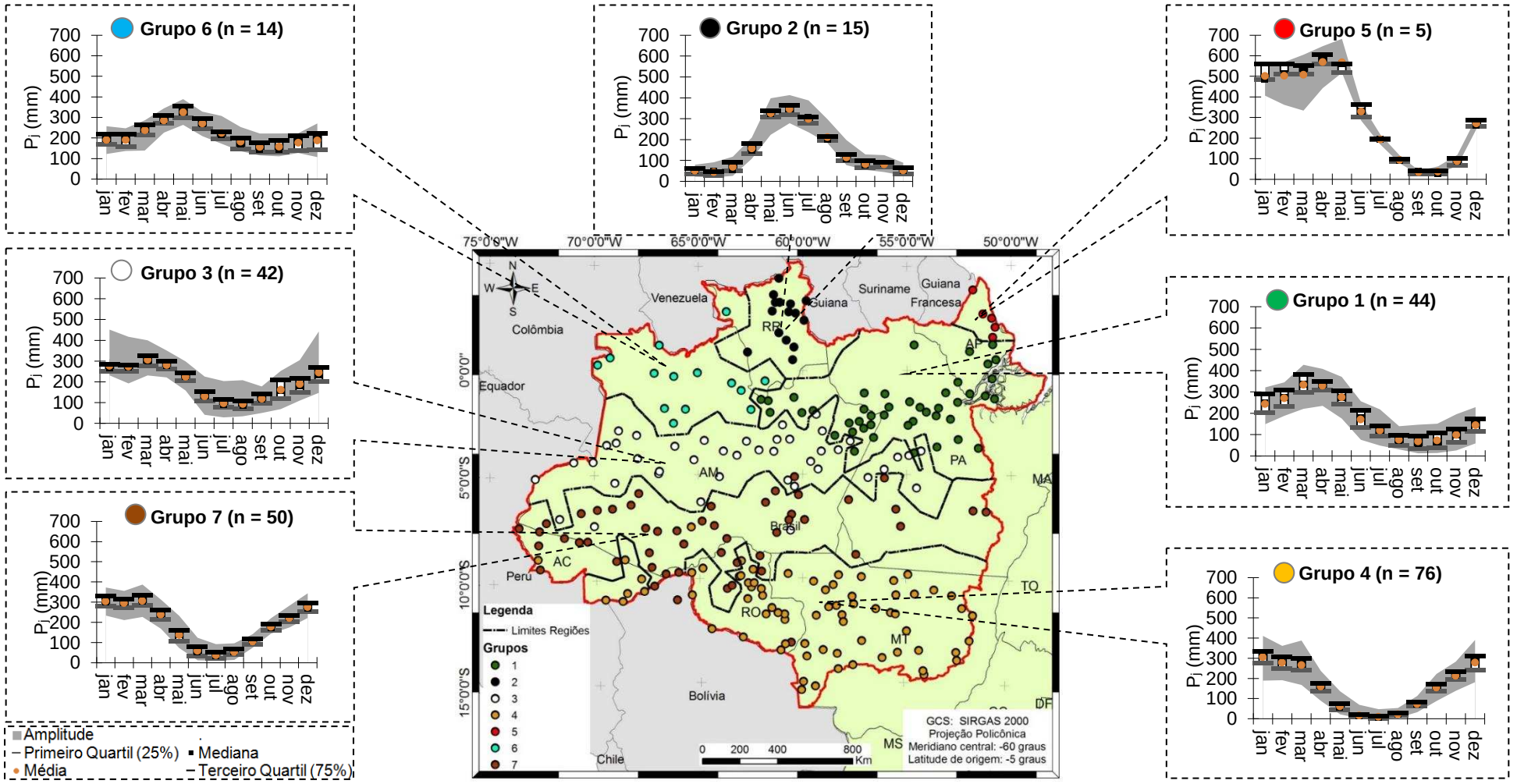


Figura 8 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis.

Ainda assim, essa definição do número "ótimo" de grupos também envolveu certa subjetividade, o quê ocorre mesmo se optando pelos índices estatísticos de validação existentes, já que estes produzem resultados diversos e, muitas vezes, conflitantes (ARBELAITZ et al., 2013; DINIZ et al., 2012; GOYAL; GUPTA, 2014).

Por outro lado, cabe observar que, apesar do método possibilitar a individualização de padrões de sazonalidade distintos entre os grupos, pode-se considerar que os grupos 4 e 7 apresentam estações com comportamento similar em termos da magnitude e do padrão sazonal das precipitações mensais, o que permite considerar estes dois grupos como uma única região homogênea (Figura 9). Neste sentido, conclui-se que este método possibilitou a subdivisão da Região Hidrográfica Amazônica (RHA) em seis regiões hidrologicamente homogêneas com base no comportamento das precipitações mensais ao longo do ano, que podem ser descritas como:

- Região homogênea 1 (Grupo 1): padrão de sazonalidade intermediário que se concentra na região nordeste da RHA, com precipitações mensais máximas (220 a 427 mm) ocorrendo em março e abril e mínimas (12 a 151 mm) em outubro e novembro;
- Região homogênea 2 (Grupo 2): padrão de sazonalidade intermediário que se concentra na região norte central da RHA, basicamente, no Estado de Roraima, com precipitações mensais máximas (278 a 413 mm) ocorrendo em junho, e mínimas (22 a 89 mm) em dezembro, janeiro e fevereiro;
- Região homogênea 3 (Grupo 3): padrão de sazonalidade intermediária que se concentra entre as latitudes 4º e 6º perpassando de leste a oeste a RHA, com precipitações mensais máximas (231 a 451 mm) ocorrendo de dezembro a março, e mínimas (28 a 207 mm) em julho e agosto;
- Região homogênea 4 (Grupos 4 e 7): padrão sazonal predominante abaixo da latitude 6º Sul da RHA, com precipitações mensais máximas (189 a 410 mm) ocorrendo de dezembro e janeiro, e mínimas (0 a 90 mm) em junho e julho;

  Região homogênea 5 (Grupo 5): padrão de sazonalidade expressiva que se concentra no extremo nordeste da RHA, com precipitações mensais máximas (517 a 682 mm) ocorrendo em abril e maio, e mínimas (22 a 62 mm) em setembro e outubro; e

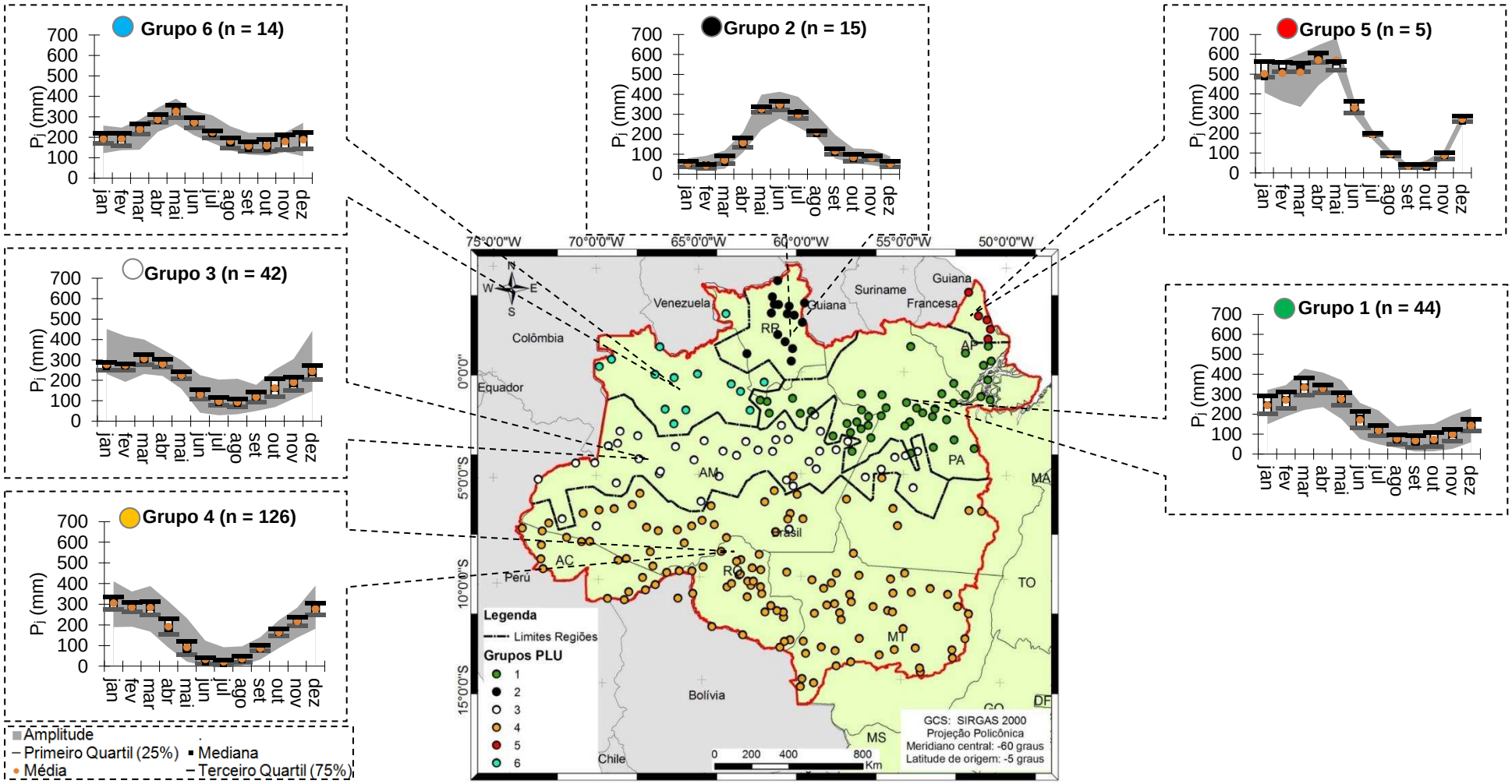


Figura 9 - Correção do agrupamento das estações pluviométricas para seis grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis.

- Região homogênea 6 (Grupo 6): padrão aproximadamente constante ao longo do ano que abrange todo o noroeste da RHA, com precipitações mensais máximas (263 a 389 mm) ocorrendo em maio, e mínimas (110 a 221 mm) em setembro e outubro.

Essa descrição da variação do comportamento das precipitações na região é, em grande parte, coincidente à descrição feita por Cavalcanti et al. (2009) para a bacia amazônica. Por exemplo, observa-se a ocorrência da defasagem de seis meses entre o máximo de chuva observado na região norte da bacia, acima do equador, em relação à parte sul da bacia, sendo que o início e o fim da estação chuvosa na Amazônia deslocam-se gradativamente de sul para norte, influenciadas pelas Temperaturas da Superfície do Mar (TSMs) no Pacífico ou no Atlântico Tropical.

No entanto, a subdivisão em seis regiões hidrologicamente homogêneas não coincide com aquela obtida por Santos et al. (2015), especialmente, no caso da região 4, a qual é subdividida em duas regiões no trabalho desses autores, sendo uma região distribuída ao longo do sudoeste da Região Hidrográfica Amazônica, com a sazonalidade menos expressiva do que a região central, com sazonalidade mais evidente em termos das precipitações mensais. Estas diferenças podem estar associadas ao número diferente de estações utilizado no trabalho desses autores e, provavelmente, ao período base (1983-2012) diferente do período base utilizado no presente trabalho (1977-2006).

As variabilidades interanuais nos padrões do início e fim da estação chuvosa, influenciadas por campos de ENSO e de LNSO, não podem ser observadas com a aplicação deste método, uma vez que as precipitações mensais médias de longo período (1977-2006) utilizadas no presente trabalho resumem estas variabilidades interanuais a valores médios na identificação das regiões homogêneas.

Portanto, apesar de algumas limitações observadas, este método provê resultados sobremaneira consistentes e que possibilitam visualizar, com clareza, a distribuição de diferentes regimes de chuvas na Região Hidrográfica Amazônia com base nas regiões hidrologicamente homogêneas identificadas e delimitadas.

Os resultados dos agrupamentos em quatro, cinco e seis grupos estão disponíveis para consulta no APÊNDICE C.

Na Figura 10 é apresentado o resultado do agrupamento das estações em sete grupos utilizando o método Ward tomando a correlação de Pearson (1-r) como medida de similaridade/dissimilaridade considerando as precipitações mensais.

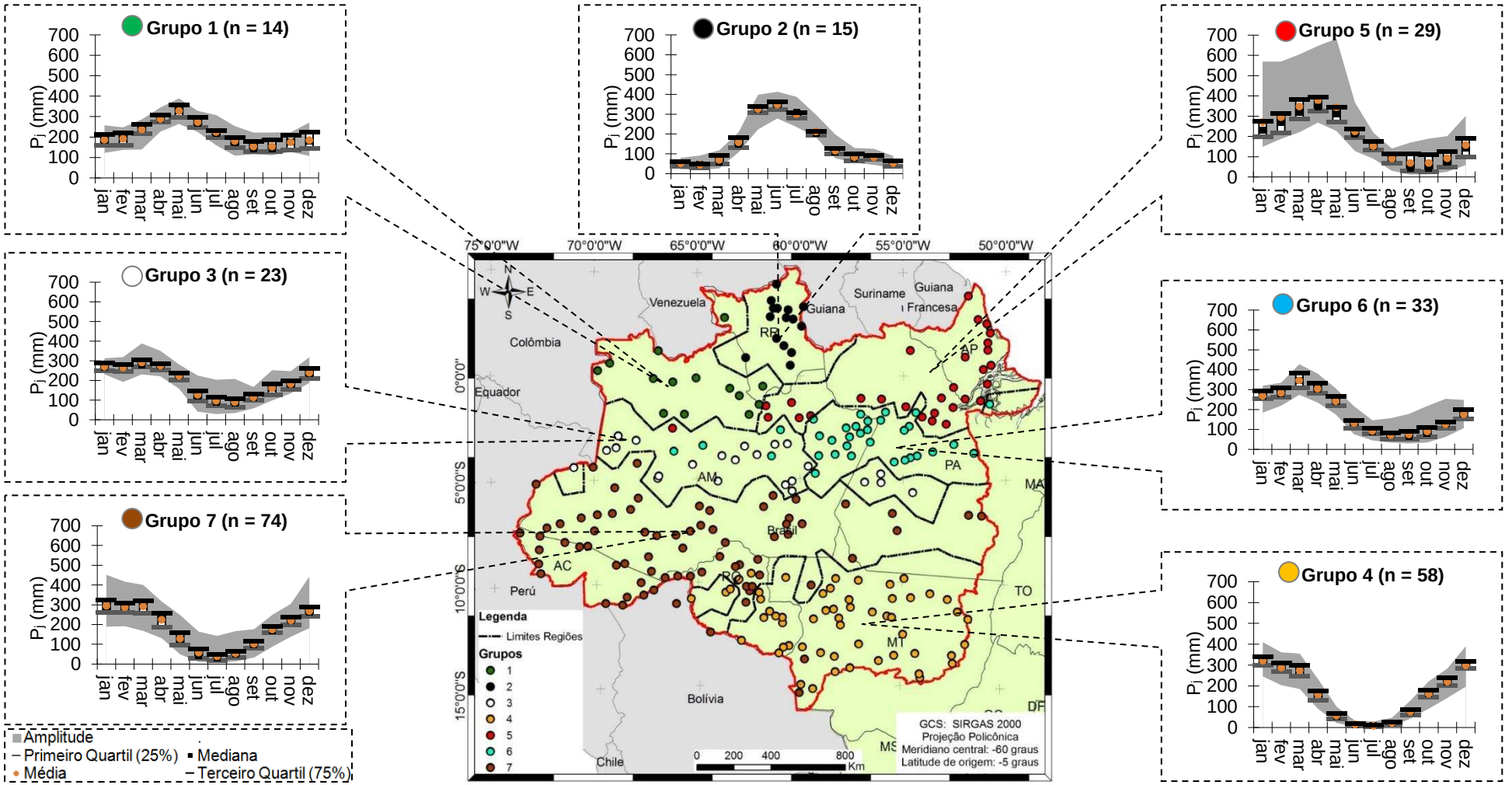


Figura 10 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais.

Este método também agrupou estações próximas entre si, como se observa no mapa, ocorrendo apenas alguns pontos dispersos, permitindo o traçado das linhas de delimitação das regiões com base nos grupos formados, aplicando-se também a distância euclidiana por meio do método Euclidean Allocation.

Pode-se afirmar ainda que a distribuição espacial dos grupos 1, 2, 4 e 7, obtidos por este método, é semelhante à distribuição espacial dos grupos 6, 2, 4 e 7, respectivamente, obtidos com o método anterior.

Ressalta-se que a escolha do número de sete grupos como agrupamento final, neste caso, se deu de forma a possibilitar a comparação com o resultado do método anterior.

Assim, observou-se o agrupamento de estações com comportamentos similares entre si, com as precipitações mensais variando com baixa amplitude e média coincidente com a distribuição (quartil 1, 2 e 3) em cada mês, conforme pode ser observado nos gráficos box plots para quase todos os grupos formados.

Porém, o grupo 5 evidencia que a correlação de Pearson não possui sensibilidade para a diferenciação dos padrões de sazonalidade com magnitudes distintas. Neste grupo, o método incluiu estações em que os padrões de sazonalidade são semelhantes (precipitações mensais máximas ocorrendo dos meses de março, abril e maio e mínimas ocorrendo nos meses de setembro e outubro), mas com magnitudes diferentes devido à alta correlação entre elas. Os agrupamentos em quatro, cinco e seis grupos, neste caso, também estão disponíveis para consulta no APÊNDICE C.

Os grupos 4 e 7, assim como no método anterior, apresentaram estações com precipitações mensais com comportamento similar, o que permite considerar estes dois grupos como uma região homogênea. No entanto, devido à inconsistência detectada no grupo 5, optou-se por não considerar as regiões formadas por este método como regiões hidrologicamente homogêneas em termos do comportamento das precipitações mensais.

4.1.1.2. Híbridos

Na Figura 11 é apresentado o resultado do agrupamento das estações em sete grupos utilizando o método híbrido com a análise de agrupamento pelo método Ward tomando como variável a entropia própria (H) calculada a partir das precipitações mensais.

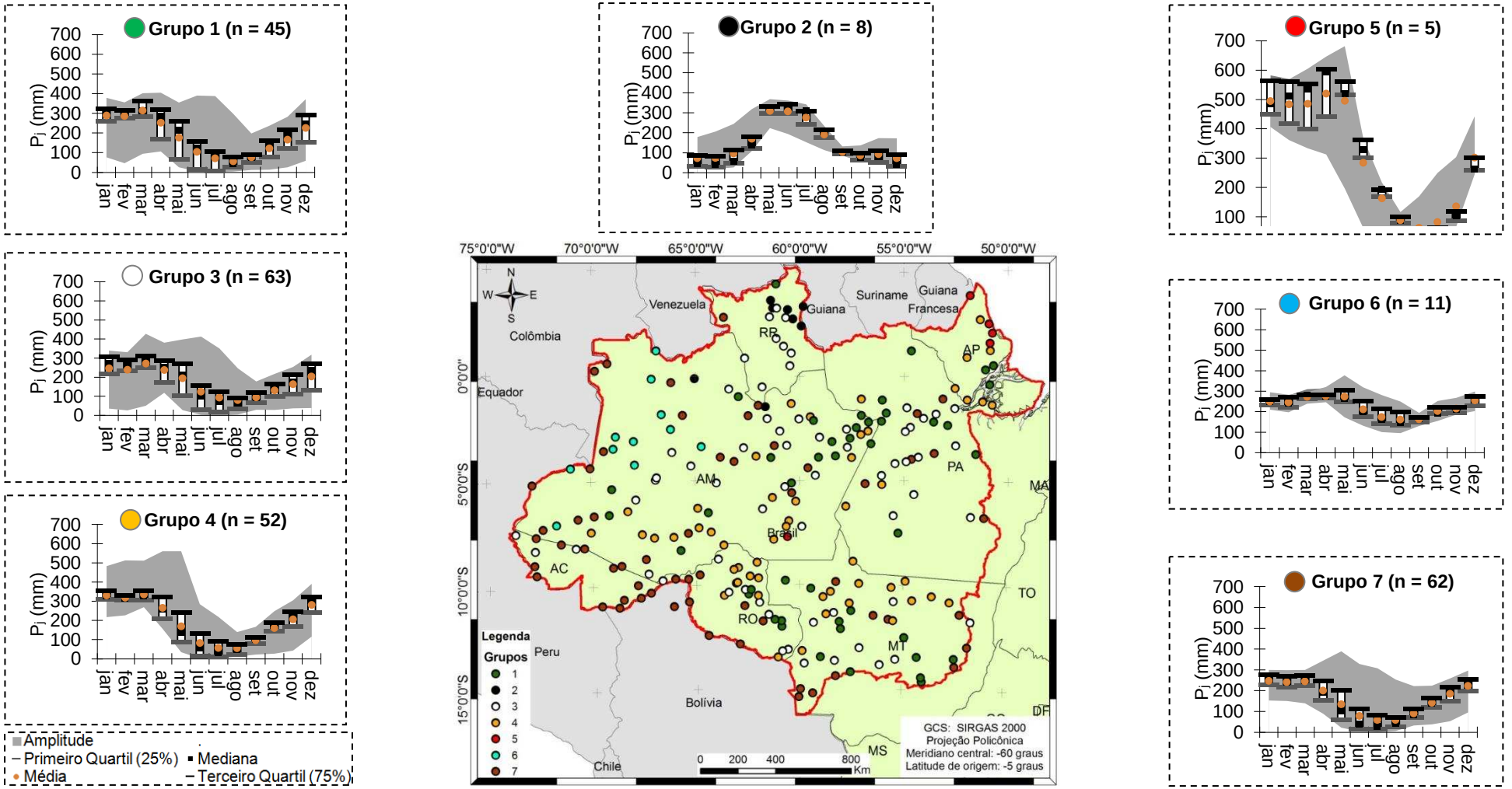


Figura 11 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando como variável a entropia própria (H) calculada a partir das precipitações mensais.

A escolha do número de sete grupos como agrupamento final, também se deu de forma a possibilitar a comparação com os resultados do método anterior.

Pode-se observar no mapa que a distribuição espacial dos grupos formados apresentou padrão disperso, o que inviabilizou o processo de delimitação das regiões homogêneas com base nos grupos formados. Portanto, qualquer tentativa de traçado das linhas representativas da subdivisão da Região Hidrográfica Amazônica em regiões hidrologicamente homogêneas agruparia estações pertencentes a diferentes grupos dentro de uma mesma região.

Com base nos gráficos box plots, nota-se que as estações agrupadas nos grupos 1 e 3 apresentaram amplitudes de variação das precipitações mensais dentro das mesmas faixas de magnitude (entre 0 e 400 mm).

Porém, observa-se claramente que os padrões de sazonalidade das precipitações mensais nas estações que compõem estes grupos ocorrem em épocas diferentes do ano.

Assim, este método agrupou estações cujas precipitações mensais mínimas acontecem nos meses de junho, julho e agosto, com as estações em que as precipitações mensais máximas acontecem nestes mesmos meses. No caso das estações agrupadas no grupo 7, além do mesmo problema que ocorreu nos grupos 1 e 3, verifica-se ainda o agrupamento de estações com amplitudes de variação das precipitações mensais diferentes entre si.

Os grupos 2, 4, 5 e 6 apresentaram estações com comportamentos mais próximos entre si em termos da variação das precipitações mensais ao longo do ano. No entanto, ocorreram amplitudes de variação expressivas, e deslocamentos das médias em relação às medianas e os primeiro e terceiro quartis para alguns meses do ano. Isso mostra que existem estações com comportamentos discrepantes em relação às demais estações que compõem estes grupos.

Portanto, devido às diversas inconsistências detectadas nos agrupamentos por este método utilizando a entropia própria, não foi possível considerar as regiões formadas como regiões hidrologicamente homogêneas em termos do comportamento das precipitações mensais.

Na Figura 12 é apresentado o resultado do agrupamento das estações em sete grupos utilizando o método híbrido com a análise de agrupamento pelo método Ward tomando como variável a densidade de entropia (DE) calculada a partir das precipitações mensais.

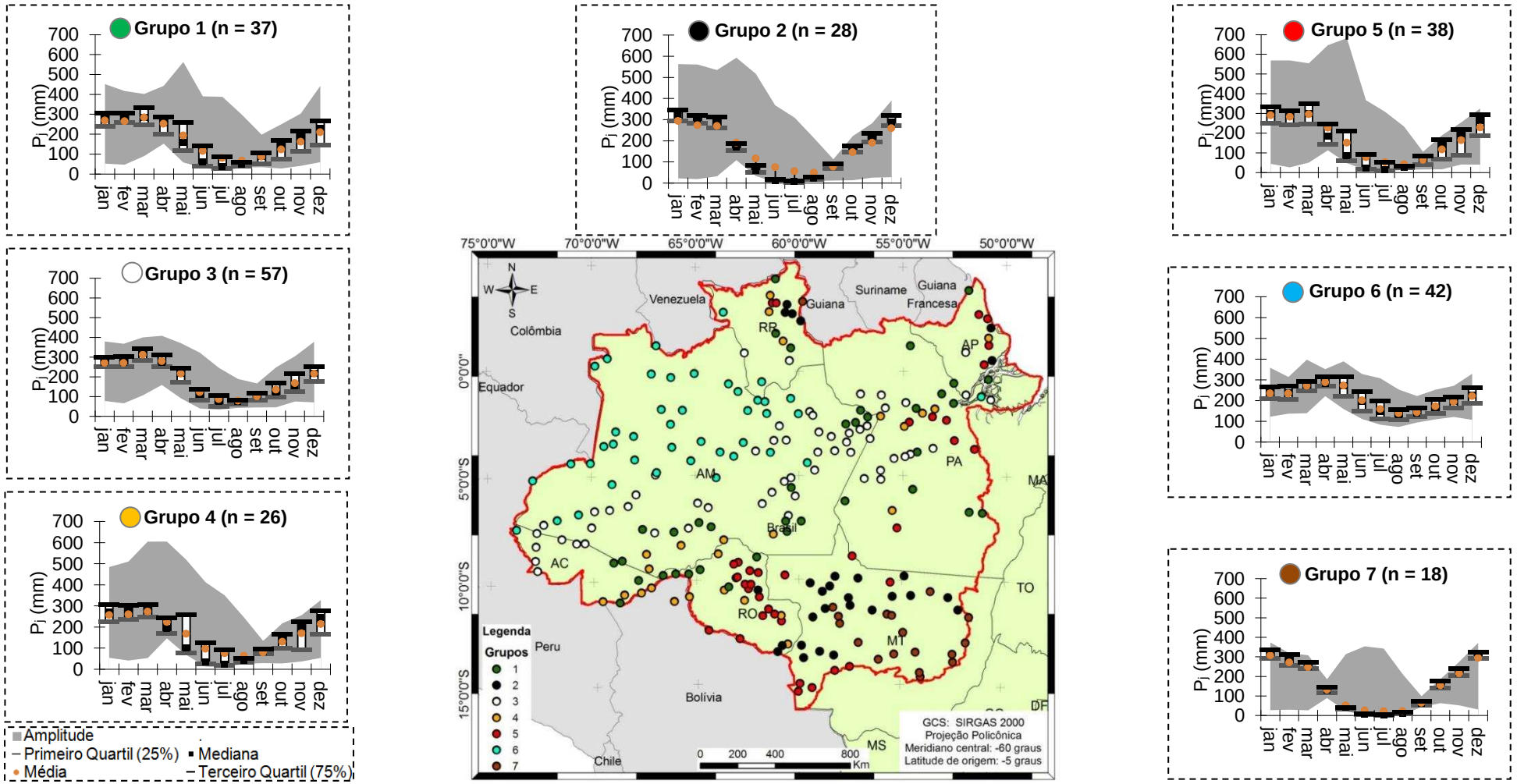


Figura 12 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando como variável a Densidade de Entropia (DE) calculada a partir das precipitações mensais.

Evidencia-se no mapa a distribuição espacial dispersa dos grupos formados impossibilitando novamente a delimitação clara das regiões com base nestes grupos.

De acordo com os gráficos box plots, percebe-se que este método também agrupou estações que apresentam precipitações mensais com comportamentos discrepantes, dada a grande amplitude de variação observada nos grupos 1, 2, 4 e 5. Nesses grupos, os desvios das médias em relação à distribuição (quartil 1, 2 e 3), observados em alguns dos meses do ano, indica o agrupamento de estações com comportamentos discrepantes em relação à maioria das estações dentro de um mesmo grupo, podendo ser consideradas como outliers.

O método também agrupou estações cujos padrões de sazonalidade das precipitações mensais ocorrem em épocas diferentes do ano, fato ainda mais evidente no grupo 7.

Já na Figura 13 é apresentado o resultado do agrupamento das estações em sete grupos utilizando o método híbrido com a análise de agrupamento pelo método Ward tomando a informação mútua (MI) como medida de similaridade/dissimilaridade considerando as precipitações mensais.

A distribuição espacial dos grupos formados, conforme se pode observar no mapa, também apresentou grande dispersão, com o grupo 2 predominante em praticamente toda a Região Hidrográfica Amazônica. Novamente, esta dispersão impossibilitou o traçado das linhas de delimitação das regiões hidrologicamente homogêneas com base nos grupos formados.

Os gráficos box plots permitem observar que, apesar da qualidade satisfatória dos grupos 1, 3, 4, 5 e 7, por agruparem pequenos números de estações (n), as quais apresentam comportamentos similares das precipitações mensais ao longo do ano dentro de cada um desses grupos, nota-se que os grupos 2 e 6 contém estações com comportamentos discrepantes em termos das magnitudes e sazonalidades das precipitações mensais.

As inconsistências detectadas nos agrupamentos por estes três últimos métodos ocorrem porque o cálculo das diferentes formas de entropia se baseia nas probabilidades de ocorrência dos eventos em uma série, o qual envolve a transformação das magnitudes em frequências. Assim, duas estações podem apresentar a mesma distribuição de probabilidade (mesmo grau de aleatoriedade), mas com magnitudes completamente distintas.

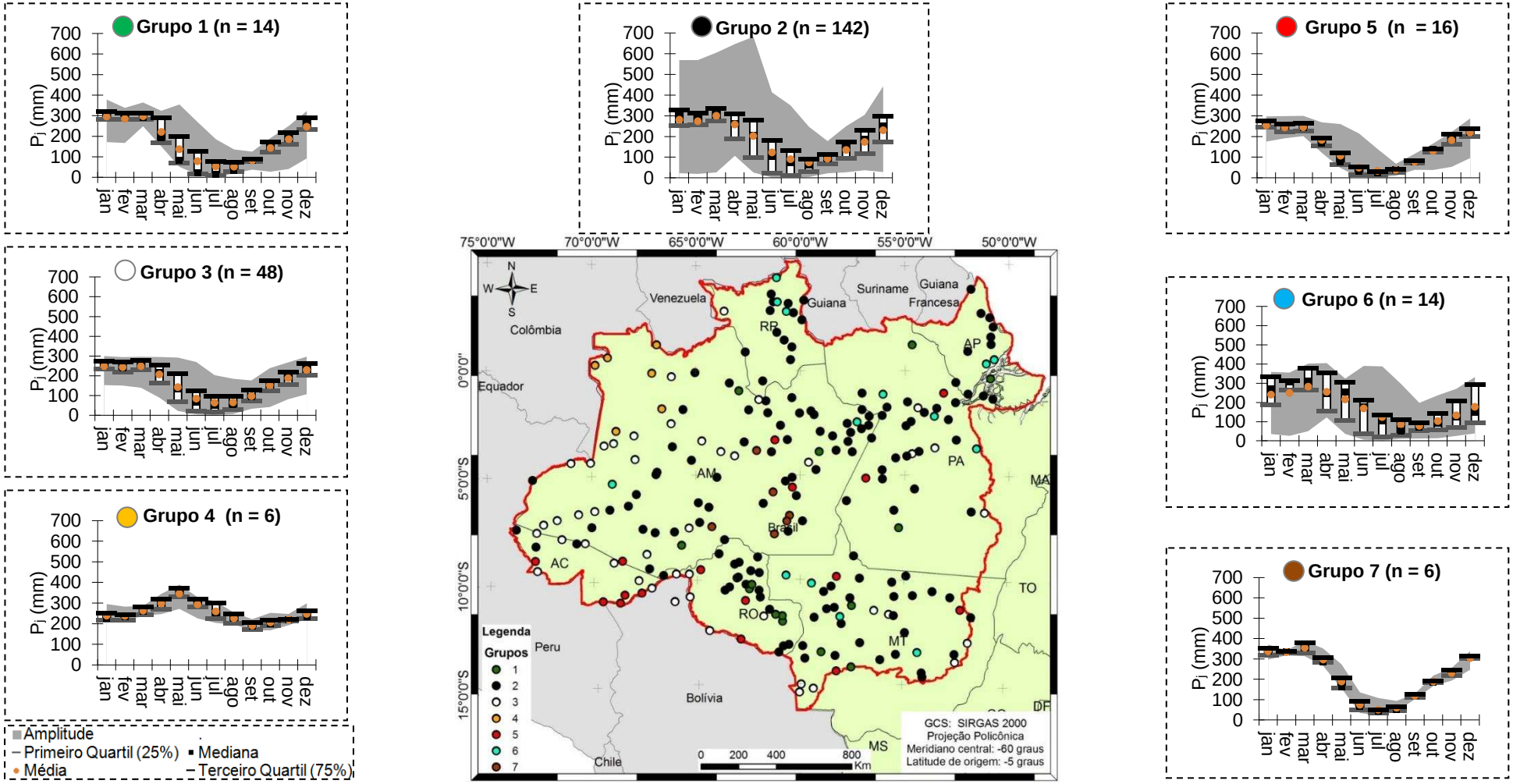
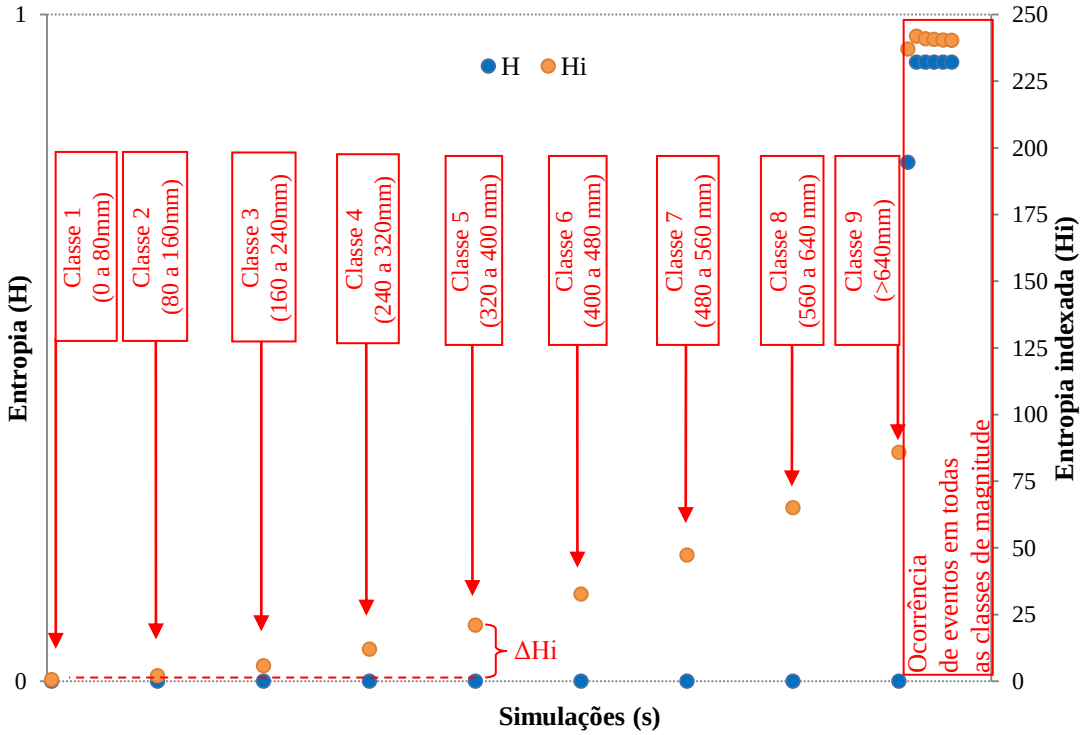


Figura 13 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos pelo método Ward, utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a Informação Mútua (MI) calculada a partir das precipitações mensais.

Portanto, a entropia própria, a densidade de entropia e a informação mútua, possibilitam a consideração do comportamento das precipitações mensais ao longo do ano, baseando-se no grau de aleatoriedade das séries temporais de precipitações mensais. No entanto, estas medidas não foram suficientes para identificação das regiões hidrologicamente homogêneas considerando os padrões de sazonalidade e de magnitude com que as precipitações mensais ocorrem ao longo do ano.

4.1.2. Aprimoramento metodológico

Na Figura 14 são apresentados os valores de entropia própria (H), calculada em sua forma original, e de entropia indexada (Hi) para 15 simulações (APÊNDICE B) variando a distribuição de probabilidade considerando as nove classes de magnitude de precipitação adotadas.



$s_{(1,...,9)} \rightarrow P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = P_5 = P_6 = P_7 = P_8 = P_9 = 1$

$s_{(10,\ldots,15)} \rightarrow P_1 \approx P_2 \approx P_3 \approx P_4 \approx P_5 \approx P_6 \approx P_7 \approx P_8 \approx P_9$

Figura 14 - Entropias própria (H) e indexada (Hi) considerando "n" simulações (s_n) da variação de distribuição de probabilidade (P_i) de ocorrência das precipitações mensais para as nove classes de magnitude (i) pré-estabelecidas.

Nas primeiras nove simulações foram consideradas as ocorrências de todos os eventos (precipitações mensais) em apenas uma classe de magnitude, ou seja, precipitações mensais seguem um padrão constante durante todo ano. Por exemplo, na primeira simulação as precipitações mensais em todos os meses do ano ocorrem com magnitude aproximadamente constante entre 0 e 80 mm. Portanto, a frequência de ocorrência nesta classe de magnitude é 12, resultando na probabilidade de ocorrência igual a um.

Nas demais simulações, considerou-se a variação das precipitações mensais ao longo do ano, e, portanto, as frequências de ocorrência estão distribuídas em todas as classes de magnitude.

O resultado das simulações permitiu observar que a inclusão do fator indexador (i) no cálculo da entropia, de fato, produziram os efeitos esperados, ou seja: seu menor valor [2*log 2 = 0,6] ocorreu quando o menor valor da série ocorre com probabilidade 1, e assume seus maiores valores quando a sazonalidade foi proeminente; os valores de $[(1+i)*\log(1+i^i)]$ ocorreram quando cada valor da série, relativo à cada classe (i), aconteceu com probabilidade 1, diferenciando-se, portanto, de acordo com a magnitude; e os valores da entropia indexada se diferenciam expressivamente entre si em comparação com a entropia própria, devido ao índice (i^i), considerando a variação tanto da magnitude quanto da sazonalidade com que a variável ocorre. Estes efeitos de diferenciação nos valores da entropia são importantes para análises de agrupamentos, uma vez que aumentam a distância (dissimilaridade) entre pontos que apresentam valores discrepantes em termos da sazonalidade e da magnitude da variável.

Com a equação 55 e considerando que os desvios padrão de “Hi” e de “m” foram, respectivamente, 3,504 e 1,758, determinaram-se deferentes valores de altura “h”, conforme os critérios apresentados na Tabela 6.

Assim, as estações agrupadas em sete grupos possuem de acordo com o método aprimorado as seguintes características: precipitações mensais com magnitudes com variação de até quatro classes de magnitude ($\Delta Hi = 11,45$); e com máxima diferença de dois meses ($\Delta m = 2$) do mês de ocorrência da mínima.

O critério mais conservador foi o que permitiu a melhor definição dos grupos, resultando em sete grupos (Figura 15).

Tabela 6. Definição do número de grupos.

Critério	Característica	ΔHi	Δm	h	nº de grupos
Precipitações mensais variando em até cinco classes de magnitude (amplitude de variação de até 400 mm), com máxima diferença do mês de ocorrência da mínima correspondente a cinco meses	Permissivo	20,37	5	41,87	4
Precipitações mensais variando em até cinco classes de magnitude (amplitude de variação de até 400 mm), com máxima diferença do mês de ocorrência da mínima correspondente a quatro meses	Pouco permissivo	20,37	4	38,96	5
Precipitações mensais variando em até quatro classes de magnitude (amplitude de variação de até 320 mm), com máxima diferença do mês de ocorrência da mínima correspondente a quatro meses	Pouco conservador	11,45	4	15,85	6
Precipitações mensais variando em até quatro classes de magnitude (amplitude de variação de até 320 mm), com máxima diferença do mês de ocorrência da mínima correspondente a dois meses	Conservador	11,45	2	11,97	7

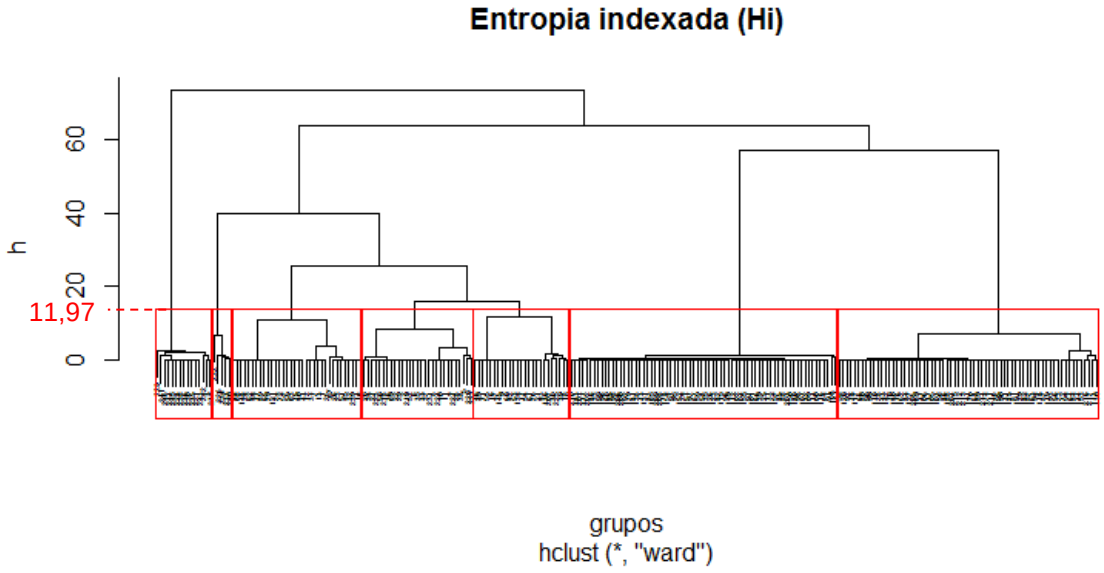


Figura 15 - Divisão em sete grupos considerando o “h” estimado em 11,97.

Os resultados dos agrupamentos utilizando critérios menos conservadores, que resultaram em 4, 5 e 6 grupos, estão disponíveis no APÊNDICE D.

Na Figura 16 é apresentado o resultado do agrupamento das estações em sete grupos a partir do método aprimorado, aplicando-se Ward e a distância euclidiana como medida de similaridade/dissimilaridade, e tomando como variáveis os valores padronizados da entropia indexada (Hi) e do mês de ocorrência da precipitação mínima (m), incluindo os gráficos com o comportamento das precipitações mensais em cada região.

Apesar da ocorrência de alguns pontos dispersos (estações pertencentes a um grupo dentro de outro agrupamento maior), como, por exemplo, nos grupos 3, 4, 6 e 7, observa-se a predominância do agrupamento de estações próximas entre si. Isso também corrobora com o princípio da dependência espacial entre as estações considerando o comportamento das precipitações mensais ao longo do ano.

Com base nos gráficos box plots, nota-se que as regiões individualizadas podem ser consideradas como homogêneas com referência na variação das precipitações mensais.

Assim, a Região Hidrográfica Amazônica (RHA) foi subdivida em sete regiões homogêneas com base no comportamento das precipitações mensais ao longo do ano, descritas a seguir:

- Região homogênea 1 (Grupo 1): padrão aproximadamente constante que se concentra nas regiões nordeste e noroeste equatoriais da RHA, com precipitações mensais máximas (200 a 358 mm) ocorrendo em março e abril e mínimas (12 a 108 mm) em setembro e outubro;
- Região homogênea 2 (Grupo 2): padrão de sazonalidade intermediário que se concentra na região norte central da RHA, que divide a região homogênea 1 abrangendo basicamente o Estado de Roraima, com precipitações mensais máximas (299 a 413 mm) ocorrendo em junho, e mínimas (19 a 128 mm) ocorrendo entre outubro e março;
- Região homogênea 3 (Grupo 3): padrão de sazonalidade intermediário que se concentra na região centro-sul a RHA, com precipitações mensais máximas (253 a 451 mm) ocorrendo em janeiro, e mínimas (0 a 146 mm) em julho;

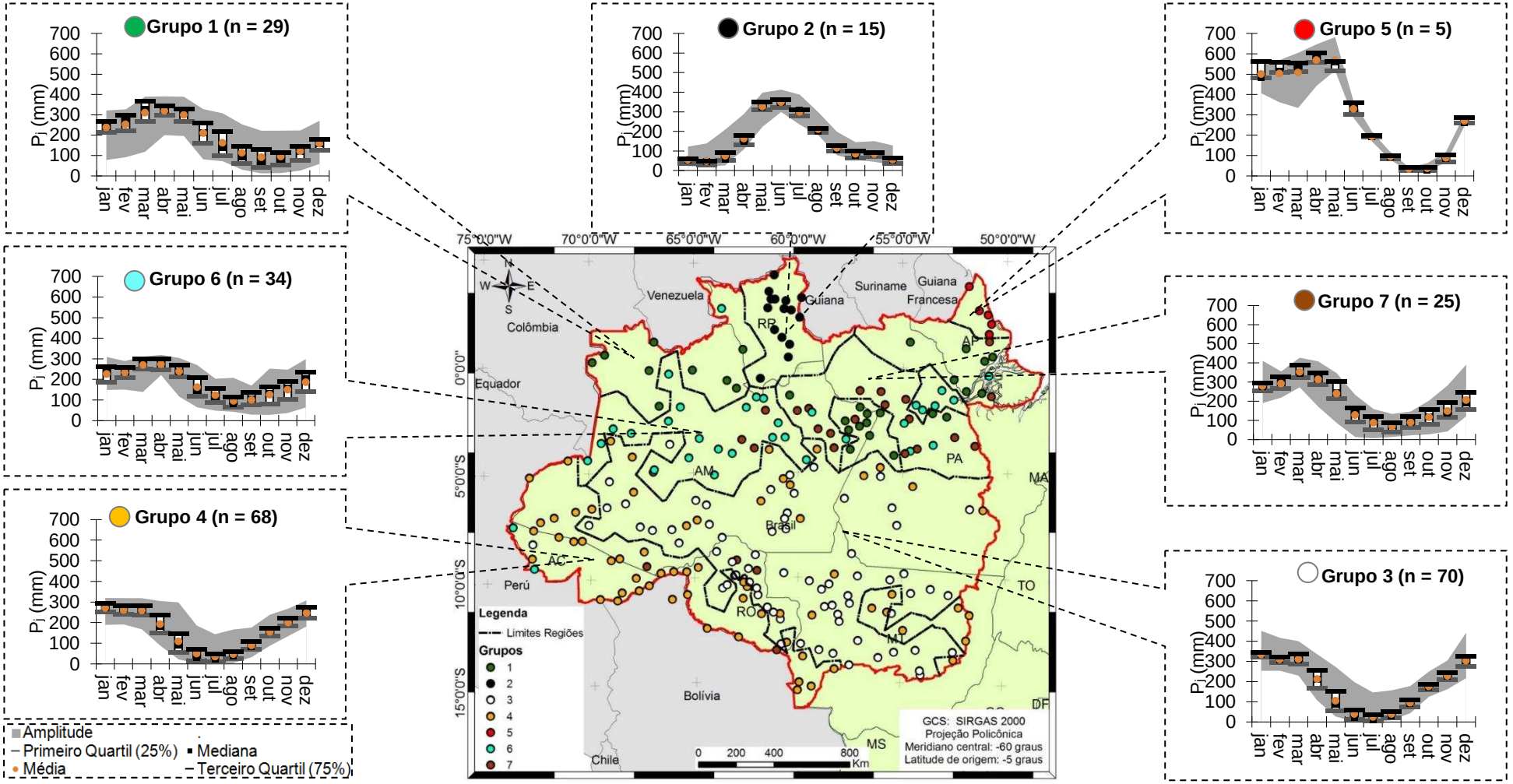


Figura 16 - Agrupamento das estações pluviométricas em sete grupos utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis.

- Região homogênea 4 (Grupos 4): padrão de sazonalidade intermediário com magnitudes menores nas partes oriental e ocidental sul da RHA e no extremo sul da região, com precipitações mensais máximas (189 a 320 mm) em janeiro, e mínimas (0 a 144 mm) em julho;
- Região homogênea 5 (Grupo 5): padrão de sazonalidade expressiva que se concentra no extremo nordeste da RHA, com precipitações mensais máximas (517 a 682 mm) ocorrendo entre janeiro e maio, e mínimas (22 a 62 mm) em setembro e outubro;
- Região homogênea 6 (Grupo 6): padrão aproximadamente constante ao longo do ano que abrange parte do noroeste subequatorial da RHA, com precipitações mensais máximas (149 a 319 mm) ocorrendo entre janeiro e abril, e mínimas (27 a 252 mm) em agosto e novembro; e
- Região homogênea 7 (Grupo 7): padrão de sazonalidade intermediário que se concentra na região nordeste subequatorial a RHA, contornando parte da região homogênea 1, com precipitações mensais máximas (273 a 427 mm) ocorrendo em março, e mínimas (7 a 133 mm) em julho e agosto.

Esta descrição geral das regiões homogêneas coincide com o comportamento e distribuição espacial das chuvas em parte da bacia amazônica descrito por Cavalcanti et al. (2009). Porém, a individualização provida pelo método aprimorado permitiu identificar os comportamentos, ao mesmo tempo em que se pôde observar com clareza a abrangência espacial das regiões onde os comportamentos ocorrem, assim como algumas singularidades locais distribuídas dentro de cada uma dessas regiões, dadas pelos pontos dispersos.

Estes resultados se assemelham, em grande parte, com a individualização obtida com o método de agrupamento Ward utilizando como medida a distância euclidiana e as precipitações mensais como variáveis. A diferença é que todas as regiões apresentaram comportamento específico das precipitações mensais, não ocorrendo comportamentos coincidentes entre os grupos formados.

A subdivisão das regiões hidrologicamente homogêneas 3 e 4 obtidas com este método são mais compatíveis com a obtida por Santos et al. (2015), tanto com relação à distribuição espacial dessas regiões quanto da sazonalidade diferenciada entre essas regiões (uma distribuída ao longo do sudoeste da Região Hidrográfica Amazônica e outra distribuída na região centro-sul, com a sazonalidade menos

expressiva do que a região central, com sazonalidade mais evidente em termos das precipitações mensais). Destaca-se que no trabalho desses autores também se observaram pontos dispersos no interior dessas regiões, reforçando a existência de localidades de comportamento atípico, que ocorrem na realidade devido à influência de características específicas locais, associadas a aspectos ambientais, tais como topografia e tipos e usos do solo e vegetação predominantes.

Os valores de amplitude máxima, distância interquartil máxima e distância máxima entre a média e a mediana entre todos os grupos formados por cada método, a fim de verificar quais métodos agruparam estações similares em termos da variação das precipitações mensais ao longo do ano estão disponíveis na Tabela 7.

Tabela 7. Amplitude máxima, distância interquartil máxima e distância máxima entre a média e a mediana entre todos os grupos formados por cada método.

Método / Medidas	Ward +Euclidiana	Ward +Pearson	Ward +H	Ward +DE	Ward +MI	Aprimorado
Amplitude máxima	295,6	455,2	525,6	634,4	656,2	**276,2**
Distância interquartil máxima	**89,4**	95,6	191,1	180,7	201,3	116,6
Distância máxima entre média e mediana	**26,9**	37,2	73,0	67,7	57,1	**26,9**

Estes resultados confirmam que o primeiro método (análise de agrupamento Ward com a distância euclidiana tomando as precipitações mensais de longa duração como variáveis) e o método aprimorado permitiram o agrupamento de estações com comportamentos mais semelhantes entre si em comparação com os demais métodos em termos da variação das precipitações mensais.

Destaca-se que no método aprimorado aconteceu pelo menos um caso de um mês de determinado grupo em que as precipitações mensais não estão concentradas próximas da mediana (distância interquartil). Porém a menor possibilidade de existência de pontos discrepantes, indicada pelo distanciamento da média em relação à mediana, além do agrupamento de estações com a menor amplitude máxima de variação, indica que todas as estações pertencentes aos grupos formados por este método apresentam variações das precipitações mensais mais similares entre si, portanto, mais homogêneas comparativamente aos demais métodos.

4.1.3. Análise dos métodos para identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e do aprimoramento metodológico em relação ao comportamento hidroclimatológico e aos aspectos ambientais

Este item apresenta uma análise comparativa entre os resultados do primeiro método (análise de agrupamento Ward com a distância euclidiana tomando as precipitações mensais de longa duração como variáveis) com os resultados do método aprimorado, considerando que o primeiro método, entre os demais métodos aplicados, foi o que apresentou resultados mais coerentes em relação ao método aprimorado.

Em um primeiro momento, é apresentada a análise considerando a influência das precipitações mensais nos demais processos hidroclimatológicos associados ao comportamento da ET_0 mensal e da q_{mld} mensal nas regiões hidrologicamente homogêneas identificadas por esses dois métodos. Na sequência, é apresentada a análise dos aspectos ambientais relacionados à distribuição da vegetação nestas regiões hidrologicamente homogêneas.

4.1.3.1. Análise em relação ao comportamento hidroclimatológico

Considerando a influência do comportamento das precipitações mensais nos demais processos hidroclimatológicos, nota-se que, tanto no caso do método Ward com a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis (Figura 17), como no método aprimorado (Figura 18), o comportamento da ET_0 mensal é negativamente correlacionado ao comportamento das precipitações mensais nas regiões individualizadas. Portanto, quando ocorrem as maiores precipitações mensais a tendência é de ocorrência de menores ET_0 mensais, e vice-versa.

Esta tendência de correlação negativa do comportamento da ET_0 em relação ao comportamento das precipitações está relacionada às condições climatológicas associadas à nebulosidade e à umidade do ar, as quais têm implicações no saldo de radiação (R_n) e no défcit de pressão de vapor (VPD), consideradas na estimativa da ET_0. De acordo com Costa et al. (2010), o R_n aumenta significativamente em função da redução da nebulosidade na estação menos chuvosa nas florestas equatoriais úmidas da Amazônia, sendo fator determinante no controle da evapotranspiração nestas regiões.

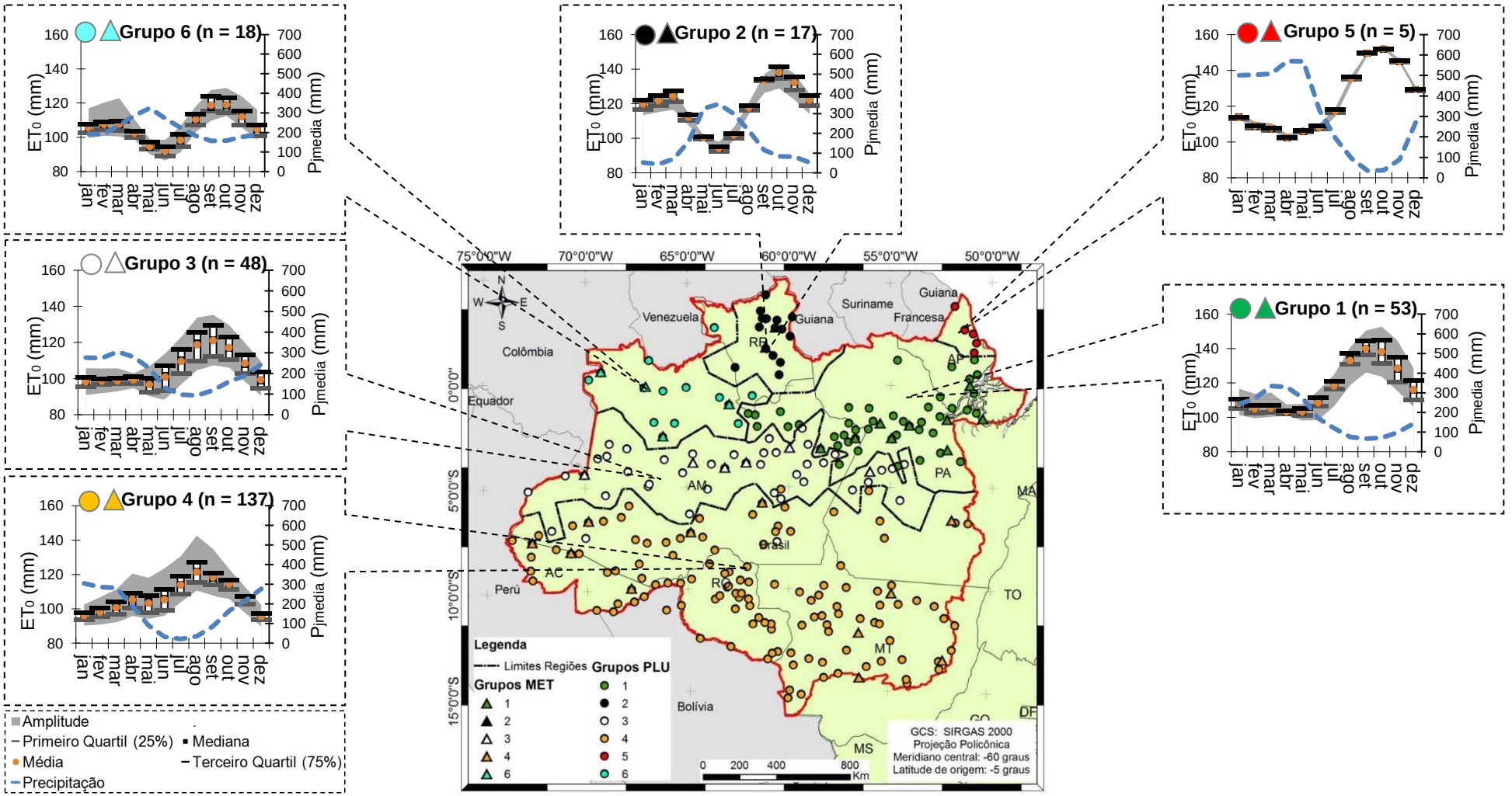


Figura 17 - Estações meteorológicas (MET) e pluviométricas (PLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método de análise de agrupamento Ward e comportamento da ET_0 mensal em cada região.

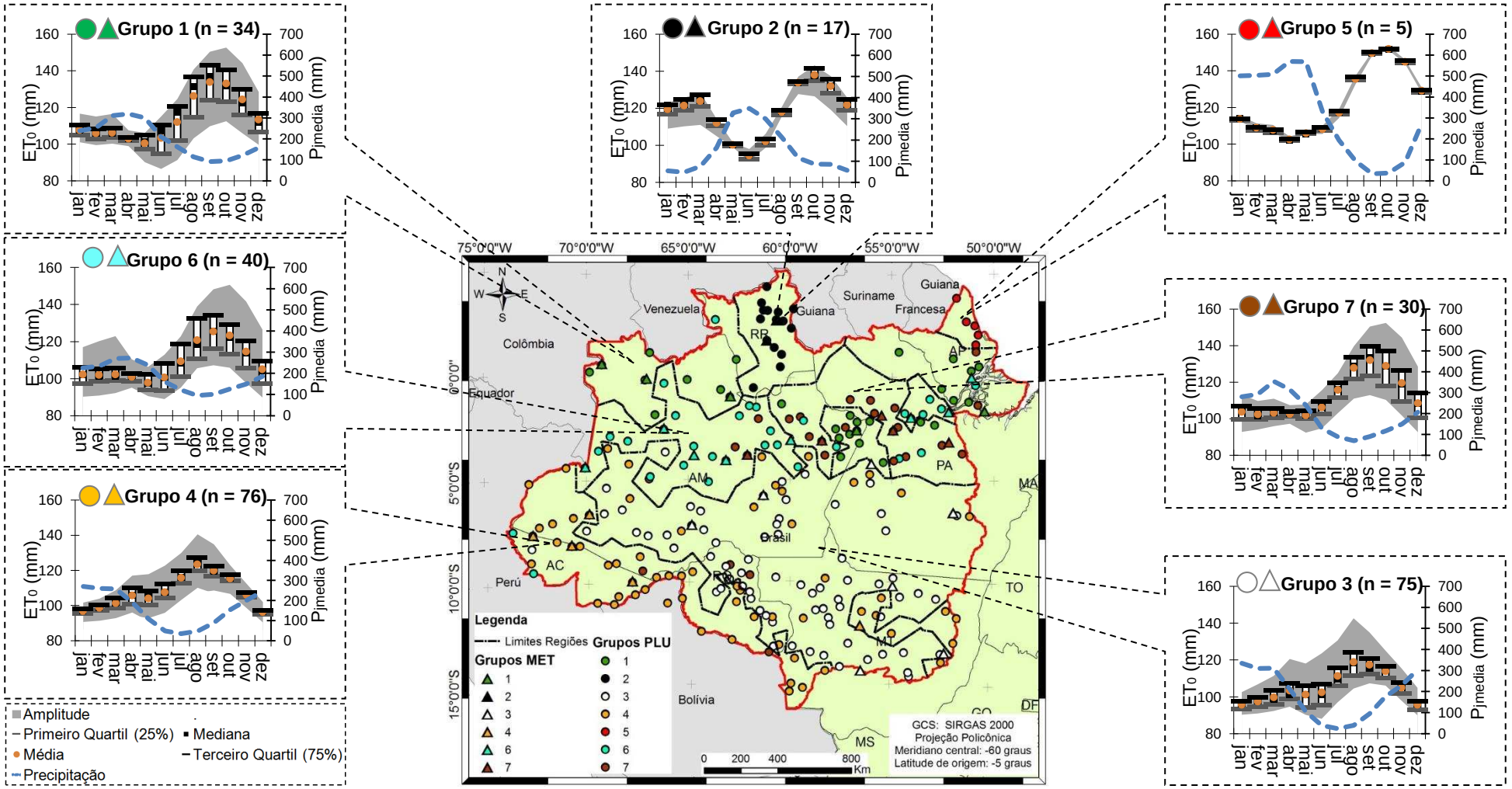


Figura 18 - Estações meteorológicas (MET) e pluviométricas (PLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método aprimorado e comportamento da ET_0 mensal em cada região.

Já nas florestas sazonalmente mais secas, em latitudes mais ao sul, o R_n não varia significativamente ao longo do ano, porém ocorre um aumento expressivo do VPD na estação seca nestas regiões.

Lembrando que no primeiro método a região homogênea 4 é formada pelos grupos 4 e 7, sendo, portanto, considerados em conjunto também para a ET_0 mensal, conclui-se que, de acordo com os resultados deste método, não ocorre distinção de comportamentos para as ET_0 mensais nesta região homogênea (Figura 17).

Já no caso do método aprimorado (Figura 18) os valores das ET_0 mensais na região homogênea 4 tendem a ser ligeiramente maiores que na região homogênea 3, tanto na estação chuvosa como na seca. Neste contexto, destaca-se que o controle sazonal da evapotranspiração real feito pela resposta biológica estomática das plantas ao estresse hídrico, característico das regiões mais ao sul da Amazônia, conforme apresentado por Costa et al. (2010), não é evidenciado no caso da ET_0, pois esta é controlada essencialmente pelas condições atmosféricas de saldo de radiação e déficit de pressão de vapor. Por outro lado, a região homogênea 4 tende a apresentar menores precipitações mensais durante a estação chuvosa, e, consequentemente, menor nebulosidade que na região homogênea 3. Isso acarreta um maior saldo de radiação (R_n) na região homogênea 4 durante a estação chuvosa e maiores valores de ET_0 mensais.

As tendências nos comportamentos da precipitação e da ET_0 têm implicações no comportamento das vazões específicas mensais (q_{mld}) em cada região identificada de acordo com o primeiro método (Figura 19) e com o método aprimorado (Figura 20).

Considerando que no primeiro método a região homogênea 4 é formada pelos grupos 4 e 7, então todas as sub-bacias localizadas abaixo do paralelo 5º Sul foram consideradas como hidrologicamente homogêneas. Neste sentido, o gráfico box plot da região homogênea 4 permite observar que as sub bacias apresentam comportamentos distintos em termos das q_{mld} mensal dadas as grandes amplitudes observadas de dezembro a junho além de grande desvio da média em relação aos quartis, sobretudo no mês de maio.

Já as sub-bacias das regiões homogêneas 3 e 4, individualizadas de acordo com o método aprimorado, possuem sazonalidade semelhante, mas as sub-bacias da região homogênea 4 apresentam valores de q_{mld} mensais menores nos períodos devido às menores precipitações mensais no período chuvoso.

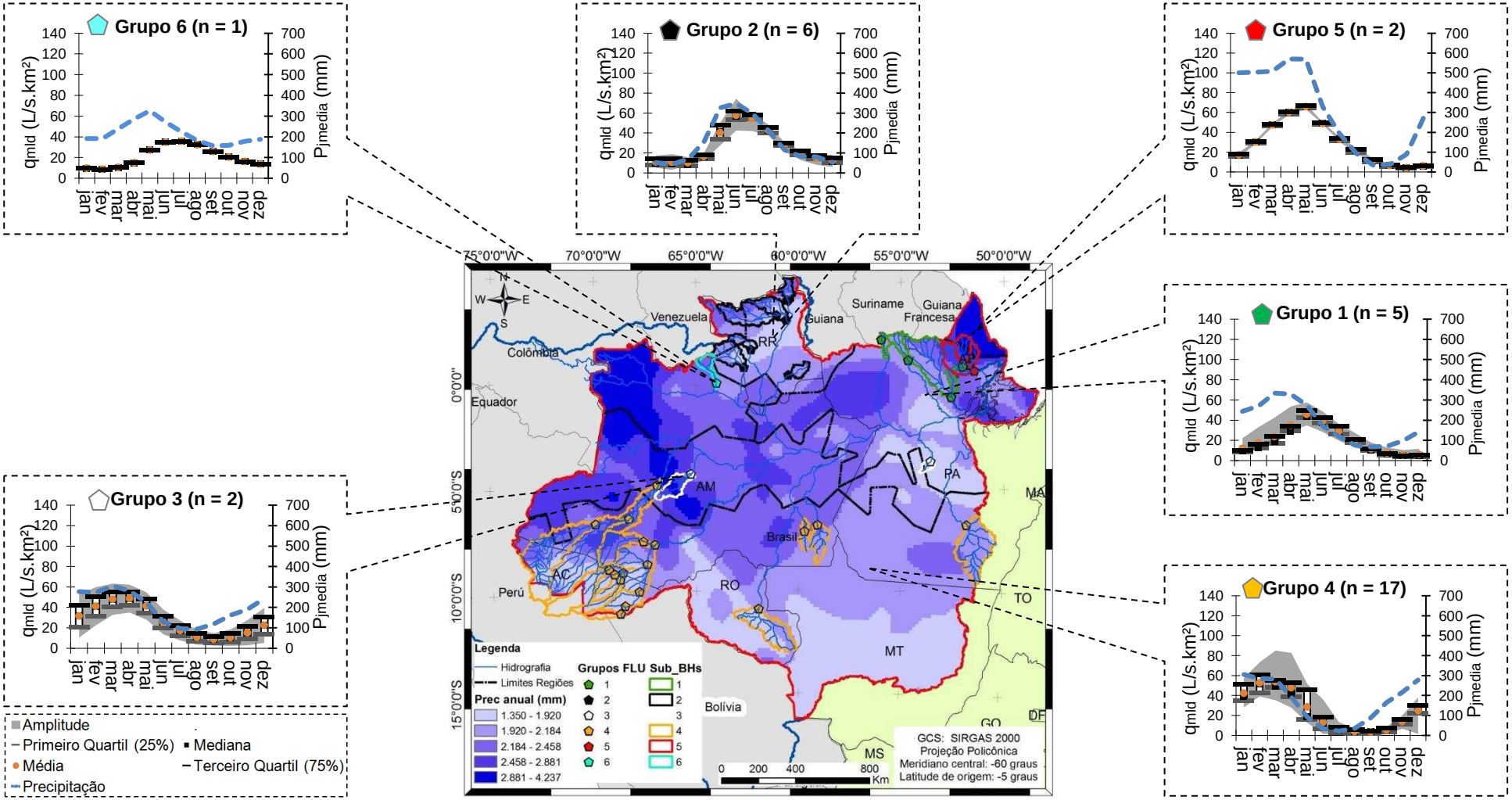


Figura 19 - Estações fluviométricas (Grupos FLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método de analise de agrupamento Ward, e comportamento da vazão específica média (q_{mld}) mensal nas respectivas sub bacias (Sub BHs) de cada região.

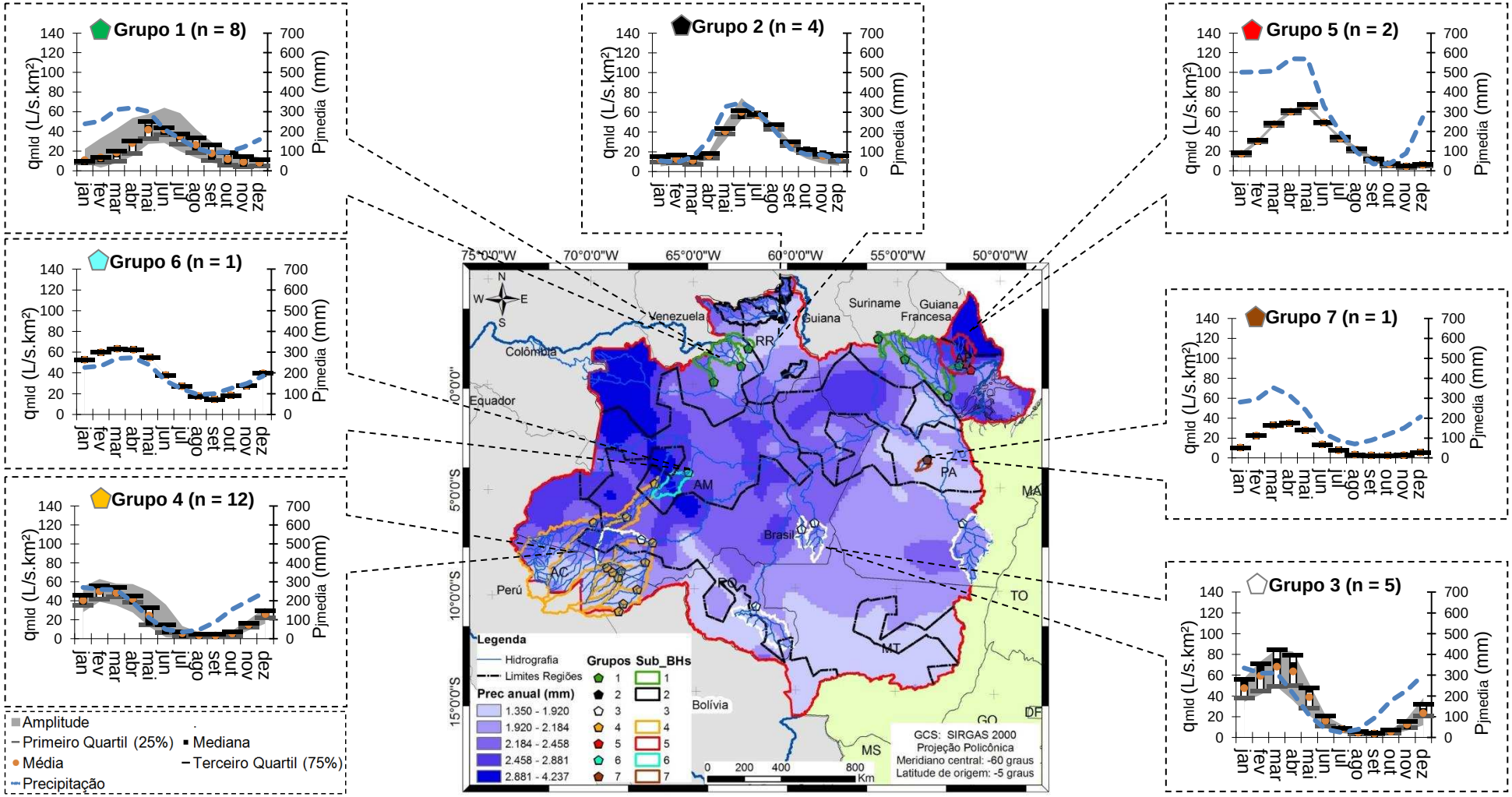


Figura 20 - Estações fluviométricas (Grupos FLU) distribuídas em relação às regiões individualizadas com o método aprimorado, e comportamento da vazão específica média (q_{mld}) mensal nas respectivas sub bacias (Sub BHs) de cada região.

Durante a estação seca, as precipitações mensais em ambas as regiões não se diferenciam expressivamente, não havendo diferença em termos de R_n. Porém, a quantidade de água disponível para a evapotranspiração na região homogênea 4 (aportada durante o período chuvoso) tende a ser menor, reduzindo a umidade relativa do ar nesta região. Com isso, ocorre maior déficit de pressão de vapor (VPD) e maiores valores de ET_0 mensais na região homogênea 4 do que na região homogênea 3 durante a estação seca.

Portanto, sob o ponto de vista do comportamento da ET_0, pode-se considerar que a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas provida pelo método aprimorado mostrou-se mais consistente do que a identificação obtida com o método anterior.

Assim, considerando que o método aprimorado foi o que apresentou resultados mais consistentes na identificação das regiões hidrologicamente homogêneas, as implicações do comportamento das precipitações sobre a ET_0 e a q_{mld} nas regiões homogêneas identificadas por este método foram:

- Região homogênea 1: a ET_0 nos meses mais chuvosos (março e abril) é menor (entre 102 mm), podendo apresentar valores um pouco menores (90 mm) nos meses subsequentes já que o padrão sazonal é pouco evidente e o período chuvoso se estende ao longo do ano, com a q_{mld} máxima (42 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo, portanto, em junho. Nos meses menos chuvosos (setembro e outubro) a ET_0 tende a ser maior (133 mm), com a mínima q_{mld} (8,2 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em dezembro. Portanto, nesta região homogênea ocorre defasagem em torno de três meses entre as precipitações mensais máximas observadas e os máximos valores de q_{mld}.
- Região homogênea 2: a ET_0 no mês mais chuvoso (junho) tende a ser mínima (94 mm), com a q_{mld} máxima (60 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo no mesmo mês, e nos meses menos chuvosos (outubro a março) a ET_0 é máxima (chegando a 138 mm), com as mínimas q_{mld} (13 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo também nestes meses, ou seja, sem defasagem temporal vazões em relação às precipitações;
- Região homogênea 3: a ET_0 no mês mais chuvoso (janeiro) é mínima (96 mm), com a q_{mld} máxima (72 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em março, e no mês menos chuvoso (julho) a ET_0 é máxima (119 mm), com a mínima q_{mld} (4,5 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em setembro, ou seja, com aproximadamente dois

meses de defasagem das vazões em relação às precipitações, tanto das máximas como das mínimas;

- Região homogênea 4: a ET_0 no mês mais chuvoso (janeiro) é mínima (97 mm), com a q_{mld} máxima (42 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em fevereiro, e no mês menos chuvoso (julho) a ET_0 tende a ser máxima (123 mm), com as mínimas q_{mld} (próximo de 3 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em agosto e setembro, ou seja, com apenas um mês de defasagem das vazões em relação às precipitações, tanto das máximas como das mínimas;
- Região homogênea 5: a ET_0 nos meses mais chuvosos (entre janeiro e maio) tende a ser mínima (chegando a 102 mm), com a q_{mld} máximas (60 a 66 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo nos mesmos meses, e nos meses menos chuvosos (setembro e outubro) a ET_0 é máxima (152 mm), com as mínimas q_{mld} (5 a 7 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em novembro e dezembro, ou seja, sem defasagem temporal entre as máximas vazões em relação às precipitações, mas com defasagem de um mês entre as mínimas;
- Região homogênea 6: a ET_0 nos meses mais chuvosos (entre janeiro e abril) é mínima (100 mm), mantendo-se esta mínima nos meses subsequentes já que o padrão é aproximadamente constante, com as máximas q_{mld} (59 a 63 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo nestes mesmos meses. Nos meses menos chuvosos (entre agosto e novembro) a ET_0 tende a ser um pouco maior (125 mm), com as mínimas q_{mld} (14 a 18 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo também nestes meses, ou seja, sem defasagem temporal das vazões em relação às precipitações tanto das mínimas quanto das máximas; e
- Região homogênea 7: a ET_0 no mês mais chuvoso (março) é mínima, com a máxima q_{mld} (35 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em abril, e nos meses menos chuvosos (julho e agosto) a ET_0 tende a ser máxima, com as mínimas q_{mld} (2,7 L s^{-1} km^{-2}) ocorrendo em setembro, ou seja, com defasagem temporal de apenas um mês das vazões em relação às precipitações, tanto nas máximas como nas mínimas.

Apesar dos resultados coerentes obtidos com o método aprimorado, admite-se a pouca representatividade de estações fluviométricas analisadas, especialmente para as regiões 5, 6 e 7, devido à baixa disponibilidade de estações fluviométricas correspondentes a subbacias menores representativas de respostas

hidroclimatológicas locais e regionais (sem influência de reservatórios), e com disponibilidade de dados sem falhas no mesmo período base (1977-2006), que foram alvos da presente análise.

Mesmo com as limitações em termos de disponibilidade de dados e de estações meteorológicas e fluviométricas, evidencia-se a influência dos comportamentos das precipitações mensais, nos comportamentos das ET_0 mensais e das q_{mld} mensais nas regiões homogêneas identificadas pelo método aprimorado. Assim, conclui-se que o aprimoramento metodológico permitiu a individualização de regiões com características específicas que podem ser consideradas como regiões hidrologicamente homogêneas considerando os seus aspectos hidroclimatológicos. Neste contexto, ressalta-se que, diferentemente do trabalho de Rodriguez et al. (2015), a individualização provida pelo método aprimorado se baseia exclusivamente no comportamento das precipitações mensais ao longo do ano, sem a necessidade da agregação de outras variáveis físico-locacionais (Latitude e/ou Longitude) como condicionantes para o processo de individualização das regiões hidrologicamente homogêneas.

Por meio dos mapas da Figura 19 e da Figura 20, observa-se que a distribuição espacial dos grupos formados não coincide com a distribuição espacial dos totais anuais precipitados em ambos os métodos. Isso indica que o comportamento das precipitações mensais não segue a distribuição das precipitações anuais, confirmando-se o fato de que as regiões podem apresentar totais anuais idênticos, porém com comportamentos ao longo do ano completamente distintos. Assim, a definição de regiões homogêneas com base na variação das precipitações mensais ao longo do ano provê resultados mais aplicáveis em termos práticos, por exemplo, para o planejamento diferenciado para as sub-bacias hidrográficas de cada região em termos do trânsito aquaviário, ou do uso sustentável e conservação dos recursos naturais.

Os valores de ET_0 mensais obtidos para as estações meteorológicas e pluviométricas, assim como os valores das q_{mld} mensais obtidos para as estações fluviométricas utilizadas, são apresentados nos APÊNDICE E e APÊNDICE F, respectivamente.

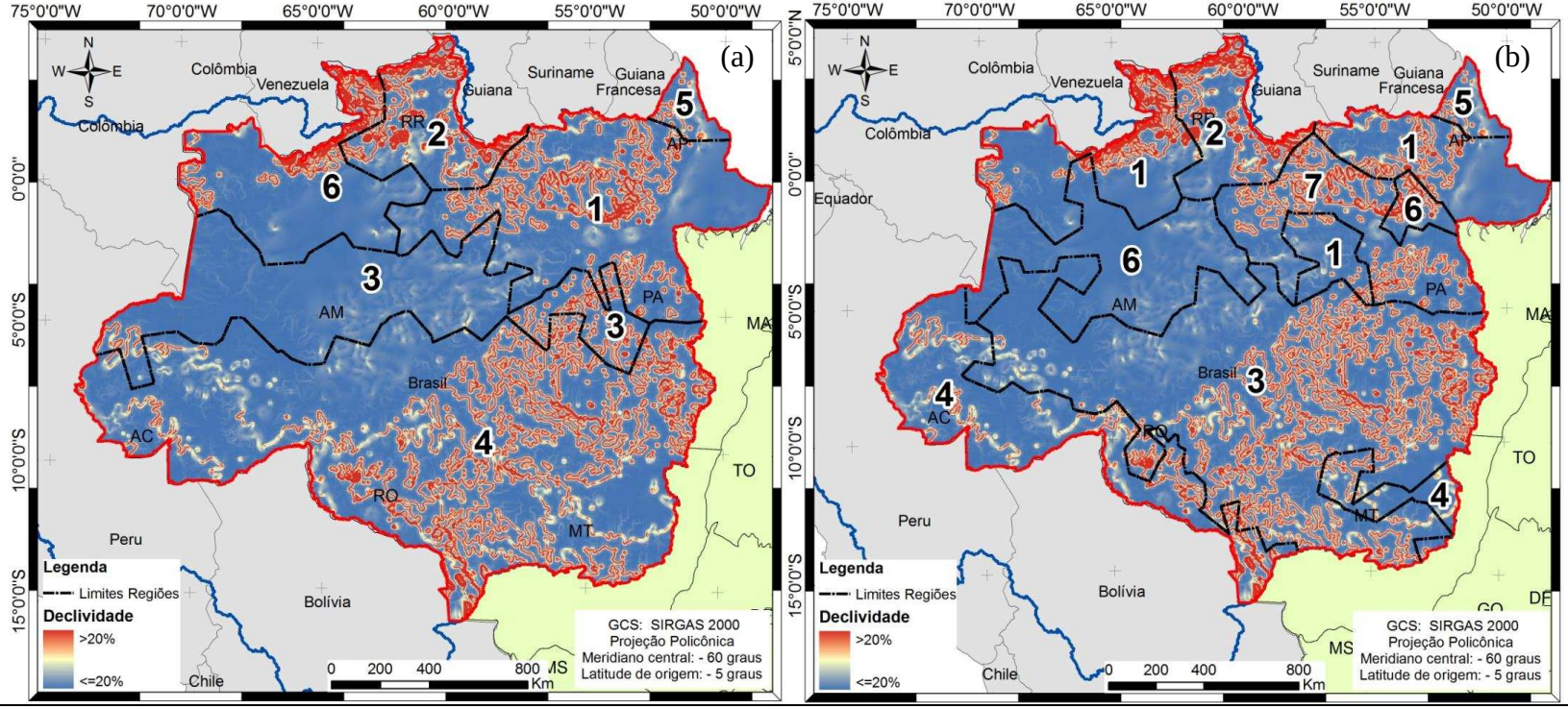
4.1.3.2. Análise em relação a aspectos ambientais

Na Figura 21 pode ser visualizada a topografia com destaque às declividades predominantes acima de 20% e abaixo de 20% na Região, isso considerando as regiões homogêneas identificadas pelo método Ward com a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis, e pelo método aprimorado.

Pode-se observar a predominância de terrenos com declividades acima da média ao norte da Região Hidrográfica Amazônica, abrangendo especialmente a região homogênea 2, tanto no caso do primeiro método, quanto no método aprimorado, o qual apresentou maior predominância também na região 7. Neste contexto, observa-se que no método aprimorado as regiões homogêneas 2 e 7 apresentaram menores defasagens temporais entre os máximos e mínimos valores de precipitação e de q_{mld} (Figura 20).

No caso do método aprimorado, menores defasagens também ocorreram nas regiões menos declivosas nas quais o período chuvoso se estende por vários meses, como acontece durante a estação chuvosa na região homogênea 5, e durante quase todo o ano na região homogênea 6. Já nas regiões homogêneas 1, 3 e 4, que são menos acidentadas, mas que não apresentaram períodos secos ou chuvosos que se prolongam por vários meses, estas defasagens temporais foram maiores, chegando a até três meses. Com isso, a individualização com o método aprimorado permitiu a percepção da influência do relevo e da umidade inicial do solo no processo de formação das vazões nas sub-bacias estudadas na Região Hidrográfica Amazônica. Isso não foi possível com o primeiro método, já que ele agrupou regiões que englobaram regiões planas em conjunto com declivosas e com diferentes regimes de precipitação, diluindo-se seus efeitos.

A região homogênea 2 identificada por ambos os métodos, o escudo guianense influencia não apenas a redução das precipitações na região de Roraima, conforme destaca Espinoza et al. (2009). Nesta região existe maior ocorrência das altitudes acima de 600 m, com localidades que podem chegar a mais de 2.900 m, ou seja, que podem ter influência orográfica sobre a variação das precipitações (Figura 8 e Figura 16).



	Região		1		2		3		4		5		6		7	
	Método		(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Áreas (% relativa)	Declividade	<20%	71, 9	74,9	50,4	54,4	**90,3**	69,6	68,8	75,0	73,6	73,6	79,3	**93,7**	N/D	66,4
		>20%	28,1	25,1	**49,6**	**45,5**	9,7	30,4	31,2	25,0	26,4	26,4	20,7	6,3	N/D	**33,6**
	Altitude (m)	<150	54,6	65,3	41,2	45,1	**85,1**	38,7	25,3	15,4	83,6	83,6	**79,7**	**94,7**	N/D	**50,1**
		150-300	35,1	21,3	38,8	35,2	13,5	33,6	44,8	62,8	16,2	16,2	7,1	2,9	N/D	**43,4**
		300-450	9,7	9,1	11,0	10,2	1,4	22,9	24,7	18,1	0,2	0,2	4,1	1,7	N/D	6,4
		450-600	0,6	1,3	4,1	4,2	0,02	4,4	4,5	2,2	0,00	0,00	4,0	0,4	N/D	0,1
		>600	0,04	2,9	**4,9**	**5,3**	0,00	0,3	0,7	1,4	0,00	0,00	**5,1**	0,2	N/D	0,00

Figura 21 - Topografia na Região Hidrográfica Amazônica considerando as regiões homogêneas, numeradas de 1 a 7, identificadas pelo método de análise de agrupamento Ward com distância euclidiana e as precipitações mensais como variáveis (a) e pelo método aprimorado (b).

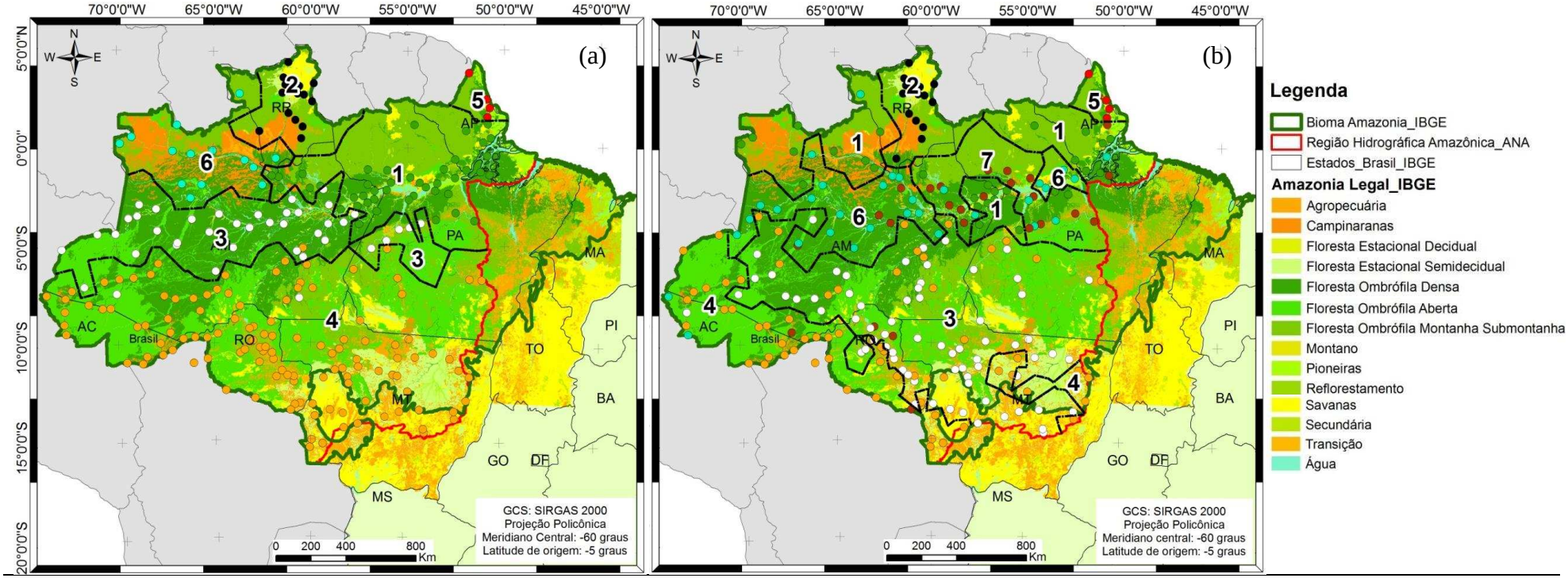
Vale destacar que estas altitudes e declividades foram calculadas com referência às curvas de nível e pontos cotados disponibilizados pelo IBGE, gerados para a escala de 1:1.000.000, incorrendo em aproximações quanto às altitudes e declives calculadas. Portanto, para análises em maior nível de detalhe (análises em nível estadual, municipal ou local) seriam necessários dados em escalas maiores do que os utilizados no presente trabalho.

Na Figura 22 pode ser visualizada a abrangência do bioma Amazônia, assim como a distribuição da vegetação e do uso do solo na Região considerando as regiões homogêneas identificadas pelo primeiro método (Ward com a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis), e pelo método aprimorado.

De acordo com a classificação da vegetação e dos usos do solo na região, pode-se observar que na região homogênea 6 identificada de acordo com ambos os métodos, predominam as florestas ombrófilas densas (acima de 25% da área coberta por esse tipo de vegetação). No entanto, o primeiro método, por ter individualizado a região 6 de forma mais abrangente, acaba por incluir também as campinaranas e as florestas ombrófilas de montanha e submontanha nesta região, sendo portanto menos homogênea em termos de vegetação predominante.

Pode-se observa no mapa da Figura 22b que as ocorrências de diferentes tipos de vegetação e usos do solo no interior da região homogênea 3 identificada pelo método aprimorado, onde predominam as florestas ombrófilas abertas, estão associadas aos pontos dispersos com comportamento das precipitações mensais típico da região homogênea 4, mas que ocorrem no interior da região homogênea 3, o que não aconteceu no caso do primeiro método. Este fato corrobora com as observações feitas por diversos autores com relação à ocorrência de vegetação típica do bioma Cerrado, mas que ocorrem no interior do bioma Amazônia (AZEVEDO et al., 2014; IBGE, 2004; MAGNUSSON et al., 2008; VIEIRA et al., 2002), e que os diferentes tipos de vegetação respondem a comportamentos hidroclimatológicos específicos (COSTA et al., 2010; ROCHA et al., 2009a;b).

Assim, pode-se considerar que a identificação das regiões hidrologicamente homogêneas com base no método aprimorado permitiu a obtenção de resultados mais consistentes, considerando também as singularidades regionais que refletem as variações no comportamento das componentes hidroclimatológicas.



	Região	1		2		3		4		5		6		7	
	Método	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)	(a)	(b)
Vegetação (% relativa)	Agropecuária	2,2	0,7	1,1	1,2	1,0	9,2	11,7	12,5	0,5	0,5	0,1	0,9	N/D	3,3
	Campinaranas	0,9	18,1	16,7	12,0	1,5	0,2	0,2	0,2	0,00	0,00	**33,3**	7,2	N/D	0,5
	Floresta Estacional Semidecidual	0,00	0,00	7,0	7,8	0,00	7,9	10,4	11,4	0,00	0,00	0,01	0,00	N/D	0,00
	Floresta Ombrófila Densa	**27,5**	**25,4**	0,3	6,7	**61,6**	21,0	13,0	9,9	**29,9**	**29,9**	**28,8**	**66,4**	N/D	**25,7**
	Floresta Ombrófila Aberta	6,4	3,0	4,7	5,1	23,7	**33,0**	**39,3**	**54,7**	0,01	0,01	5,5	10,7	N/D	11,7
	Floresta Ombrófila Montanha Submontanha	**45,6**	**38,8**	**50,5**	**45,4**	6,5	17,0	12,8	0,8	**42,2**	**42,2**	**26,4**	5,0	N/D	**48,6**
	Savanas	3,8	2,8	16,2	18,0	0,2	8,7	9,5	6, 8	5,0	5,0	0,00	1,2	N/D	1,1

Figura 22 - Bioma Amazônia, distribuição da vegetação e do uso do solo na Região Hidrográfica Amazônica considerando as regiões homogêneas identificadas pelo método de análise de agrupamento Ward com a distância euclidiana tomando as precipitações mensais como variáveis (a) e pelo método aprimorado (b).

Salienta-se que a aplicação do método aprimorado para trabalhos em escalas locais requer a aplicação de critérios técnicos mais conservadores, resultando na subdivisão da área em número maior de regiões, permitindo a consideração das peculiaridades até mesmo em nível local.

As áreas calculadas para cada região hidrologicamente homogênea individualizada por estes dois métodos em relação aos aspectos topográficos e ambientais estão disponíveis no APÊNDICE G.

5. CONCLUSÕES

A entropia indexada (Hi) representou um ganho substancial com relação à adequação do uso da entropia na teoria matemática da informação com a finalidade da identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, considerando o comportamento das precipitações mensais ao longo do ano.

O método aprimorado com a entropia indexada apresentou desempenho satisfatório em comparação com os demais métodos utilizados com a mesma finalidade de identificação das regiões hidrologicamente homogêneas na Região Hidrográfica Amazônica, considerando que:

1. permitiu a individualização de regiões homogêneas com precipitações mensais médias de longa duração de comportamentos característicos distintos entre si em termos médios e de amplitude de variação;
2. os comportamentos da ET_0 mensal nas regiões identificadas foram coerentes com relação ao comportamento das precipitações mensais nestas regiões e suas implicações no saldo de radiação e no déficit de pressão de vapor;
3. processo de formação das vazões nas sub-bacias estudadas, representadas pela q_{mld} mensal é influenciado pelos comportamentos das precipitações mensais e da ET_0 mensal, permitindo a descrição detalhada em termos do comportamento hidroclimatológico da Região Hidrográfica Amazônica distribuído nas sete regiões hidrologicamente homogêneas identificadas; e
4. os aspectos ambientais, representados pela topografia e distribuição da vegetação dentro de cada uma das regiões identificadas hidrologicamente homogêneas identificadas pelo método aprimorado, estão relacionados com os diferentes comportamentos hidroclimatológicos evidenciados nestas regiões.

6. RECOMENDAÇÕES

1. Pode-se verificar a qualidade do ajuste de modelos de regionalização de vazões para as regiões hidrologicamente homogêneas 1, 2 e 3 identificadas, já que estas apresentam maior disponibilidade de dados fluviométricos, de modo a verificar a aplicabilidade do método aprimorado com a finalidade de melhoria de desempenho dos modelos de regionalização de vazões.
2. Considera-se necessária a avaliação do desempenho do método aprimorado para a identificação de regiões hidrologicamente homogêneas para outras regiões hidrográficas, de modo a verificar sua versatilidade de aplicação para outras condições de variabilidade hidroclimatológica.
3. Faz-se necessária a avaliação do desempenho do método aprimorado para a individualização de regiões hidrologicamente homogêneas em escalas menores (nível local) na Região Hidrográfica Amazônica, considerando critérios mais conservadores em termos do ΔHi e do Δm, e avaliando suas implicações sobre o comportamento das componentes hidroclimatológicas sobre os aspectos ambientais relacionados.

7. REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranpiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage, Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma, 1998. 301p.

ANA - Agência Nacional de Água. Plano estratégico de recursos hídricos dos afluentes da margem direita do rio amazonas**.** ANA, Brasília, DF. 2013a. Disponível em: margemdireita.ana.gov.br/. Acesso em: Julho de 2014.

ANA - Agência Nacional de Águas. Atlas Geográfico Digital de Recursos Hídricos do Brasil. ANA, Brasília, 2013b. Disponível em: http://www2.snirh.gov.br/atlasrh2013/. Acesso em: Agosto de 2014.

ANA - Agência Nacional de Água. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: 2013. ANA, Brasília, DF. 2013c. 432 p.

ANA - Agência Nacional de Água. SisCoRV 1.0: Sistema Computacional para Regionalização de Vazões. ANA, Brasília, DF. 2013d. 104 p.

ANA - Agência Nacional de Águas. Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb). ANA, Brasília, DF, 2014a. Dados Hidrológicos/Séries Históricas. Disponível em: hidroweb.ana.gov.br/. Acesso em: Janeiro de 2014.

ANA - Agência Nacional de Águas. Metadados Geoespaciais/GeoNetwork. ANA, Brasília, DF, 2014b. Mapas. Disponível em: metadados.ana.gov.br/geonetwork. Acesso em: Julho de 2014.

ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários; LABTRANS/UFSC - Laboratório de Transportes e Logística/Universidade Federal de Santa Catarina. Plano Nacional de Integração Hidroviária: Bacia Amazônica. Relatório Executivo, ANTAQ e LABTRANS/UFSC, 2013, 46p.

ARBELAITZ, O.; GURRUTXAGA, I.; MUGUERZA, J.; PÉREZ, J. M.; PERONA, I. An extensive comparative study of cluster validity índices. Pattern Recognition, v. 46, pp. 243-256, 2013.

AZEVEDO, A. R. D.; SANTOS, J. R. D.; GAMA, F. F.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; MURA, J. C. Land use/land cover characterization in Amazonia using COSMO-SkyMed multitemporal images. Acta Amazonica, v. 44, n. 1, pp. 87-97, 2014.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; SIMÕES, M. C.; CALDEIRA, T. L.; NUNES, G. S. Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 7, pp. 748 - 754, 2014.

BLAIN, G. C.; PIRES, R. C. M. Variabilidade temporal da evapotranspiração real e da razão entre evapotranspiração real e potencial em Campinas, Estado de São Paulo. Bragantia, v. 70, n. 2, 2011.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J. A.; LIMA, J. R. S.; ANDRADE, C. L. T. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 4, pp. 380-390, 2012.

BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. Infiltração da Água no Solo. 3 ed. Editora UFV, Viçosa, MG, 2006, 120 p.

CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; NETO, P. C. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 3, pp. 456-465, 2011.

CAVALCANTI, I. F.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. Tempo e Clima no Brasil. Oficina de Textos, São Paulo, SP, 2009.

CHA, S. H. Comprehensive survey on distance/similarity measures between probability density functions. City, v. 1, n. 2, pp. 300-307, 2007.

CHAVENT, M.; LECHEVALLIER, Y.; BRIANT, O. DIVCLUS-T: A monothetic divisive hierarchical clustering method. Computational Statistics & Data Analysis, v. 52, n. 2, pp. 687-701, 2007.

CHEN, Y.; XIA, J.; LIANG, S.; FENG, J.; FISHER, J. B.; LI, X.; LI, X.; LIU, S.; MA, Z.; MIYATA, A.; MU, Q.; SUN, L.; TANG, J.; WANG, K.; WEN, J.; XUE, Y.; YU, G.; ZHA, T.; ZHANGO, L.; ZHANG, Q.; ZHAO, T.; ZHAO, L.; YUAN, W. Comparison of satellite-based evapotranspiration models over terrestrial ecosystems in China. Remote Sensing of Environment, v. 140, pp. 279-293, 2014.

CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. Applied Hydrology. International edition. Copyright by McGraw-Hill, Inc. 1988, 572 p.

CONCAR - Comissão Nacional de Cartografia. Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB): Conteúdo de Metadados Geoespaciais em conformidade com a norma ISO 19115:2003. Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais CEMG-CONCAR. 2009, 194 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F. Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith-FAO. Circular Técnica nº 65. Embrapa Uva e Vinho, Bento Gonçalves, RS, 2006.

COPATTI, C. E.; COPATTI, B. R. Variação sazonal e diversidade de peixes do rio Cambará, Bacia do rio Uruguai. Biota Neotropica, v. 11, n. 4, pp. 265-271, 2011.

COSTA, M. H.; BIAJOLI, M. C.; SANCHES, L.; MALHADO, A. C. M.; HUTYRA, L. R.; ROCHA H. R.; AGUIAR, R. G.; ARAÚJO, A. C. Atmospheric versus vegetation controls of Amazonian tropical rain forest evapotranspiration: Are the wet and seasonally dry rain forests any different? Journal of Geophysical Research, v. 115, G04021, doi:10.1029/2009JG001179, 2010.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Atlas Pluviométrico do Brasil. CPRM, Brasília. Atualizado em: 24/06/2014. Disponível em: http://www.cprm.gov.br/publi que/cgi/cgilua.exe/sys/ start.htm?infoid=1351&sid=9. Acesso em: Agosto de 2014.

CUSTÓDIO, E.; LLAMAS, M. R. Relaciones entre las escorrentías superficial y subterrânea. In: Hidrología subterránea. 2. ed. Editora Omega, Barcelona, 1983. cap 11.2, p. 1121-1157.

DALTON, L.; BALLARIN, V.; BRUN, M. Clustering algorithms: on learning, validation, performance, and applications to genomics. Current Genomics, v. 10, n. 6, pp. 430-445, 2009.

DEMETRIUS, L. A. Boltzmann, Darwin and directionality theory. Physics reports, v. 530, n. 1, pp. 1-85, 2013.

DINIZ, R. B. N.; SOARES, V. G.; ANJOS, L. F. C. Uso de Técnicas de Mineração de Dados na Identificação de Áreas Hidrologicamente Homogêneas no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n.1, pp. 65-75, 2012.

DOURADO, C. S.; OLIVEIRA, S. R. M.; AVILA, A. M. H. Análise de zonas homogêneas em séries temporais de precipitação no Estado da Bahia. Bragantia, Campinas, v. 72, n. 2, pp. 192 - 198, 2013.

DUBREUIL, V.; DEBORTOLI, N.; FUNATSU, B.; NÉDÉLEC, V.; DURIEUX, L. Impact of land-cover change in the Southern Amazonia climate: a case study for the region of Alta Floresta, Mato Grosso, Brazil. Environmental monitoring and assessment, v. 184, n. 2, pp. 877-891, 2012.

ELESBON, A. A. A.; SILVA, D. D.; SEDIYAMA, G. C.; GUEDES, H. A.; RIBEIRO, C. A.; RIBEIRO, C. B. D. M. Multivariate statistical analysis to support the minimum streamflow regionalization. Engenharia Agrícola, v. 35, n. 5, pp. 838-851, 2015.

ESPINOZA, J. C.; GUYOT, J. L.; RONCHAIL, J.; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N.; FRAIZY, P.; LABAT, D.; OLIVEIRA, E.; ORDOÑEZ, J. J.; VAUCHEL, P. Contrasting regional discharge evolutions in the Amazon basin (1974–2004). Journal of Hydrology, v. 375, n.3, pp. 297-311, 2009.

ESRI. ArcGIS for Desktop. Software. Environmental Systems Research Institute, Inc. (Esri), versão 10.2.2 Free 60-day Trial, 2014.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RUBERT, O. A. V.; SANTOS, R. M. Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco a Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 6, n. 2, pp. 81-105, 2001.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; RIBEIRO, C. A. A. S.; FARIA FILHO, R. F.; LEITE, C. V.; SANTOS, A. P.; ALTOÉ, D. R.; SANTOS, S. A.; OLIVEIRA, E. P.; NUNES, D. M.; FERREIRA, P. H. S.; VIANA, D. C. Atlas Digital das Águas de Minas. 3 Ed. (website). Programa de pesquisa e desenvolvimento HIDROTEC, Fundação Rural Mineira (RURALMINAS), Universidade Federal de Viçosa (UFV). Disponível em: www.atlasdasaguas.ufv.br/home.html. Acesso em: outubro de 2014.

FARSADNIA, F.; ROSTAMI KAMROOD, M.; MOGHADDAM NIA, A.; MODARRES, R.; BRAY, M. T.; HAN, D.; SADATINEJAD, J. Identification of homogeneous regions for regionalization of watersheds by two-level self-organizing feature maps. Journal of Hydrology, v. 509, pp. 387-397, 2014.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos pacífico e atlântico no clima da região. Revista Brasileira de Climatologia, v. 1, n. 1, 2005.

GONTIJO JUNIOR, W. C.; KOIDE, S. Avaliação de redes de monitoramento fluviométrico utilizando o conceito de entropia. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 17, n.1, pp. 97-109, 2012.

GOOVAERTS, P. Geostatistics for natural resources evaluation**.** Oxford University Press, Inc, New York, NY, 1997, 483 p.

GOOVAERTS, P. Geostatistical tools for characterizing the spatial variability of microbiological and physico-chemical soil properties. Biology and Fertility of Soils, v. 27, pp. 315-334, 1998.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. Journal of Hydrology, v. 228, pp. 113-129, 2000.

GOYAL, M. K.; GUPTA, V. Identification of Homogeneous Rainfall Regimes in Northeast Region of India using Fuzzy Cluster Analysis. Water Resources Management, v. 28, n. 13, pp. 4491-4511, 2014.

GREHYS - Groupe de recherche en hydrologie statistique. Presentation and review of some methods for regional flood frequency analysis. Journal of Hydrology, v. 186, pp. 63-84, 1996.

GUEDES, R. V. S.; SOUSA, F. A. S. Potencial dos recursos hídricos a partir da intensidade e distribuição da entropia da precipitação pluvial e agrupamentos no Estado do Piauí. Revista de Geografia, v. 28, n. 3, pp. 93-108, 2011.

HALL, M. J.; MINNS, A. W. The classification of hydrologically homogeneous regions. Hydrological Sciences Journal, v. 44, n. 5, pp. 693-704, 1999.

HESS, L. L.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M.; BARBOSA, C. C.; GASTIL, M. Dual-season mapping of wetland inundation and vegetation for the central Amazon basin. Remote Sensing of Environment, v. 87, n. 4, pp. 404-428, 2003.

HOFFGAARD, F.; WEIL, P.; HAMACHER, K. *Package 'BioPhysConnectoR'*. R software package version 1.6-10, 2015. Disponível em: https://cran.r-project.org/web/packages/BioPhysConnectoR/index.html. Acesso em: março de 2015.

HOFFMANN, W. A.; GEIGER, E. L.; GOTSCH, S. G.; ROSSATTO, D. R.; SILVA, L. C. R.; LAU, O. L.; HARIDASAN, M.; FRANCO, A. C. Ecological thresholds at the savanna-forest boundary: how plant traits, resources and fire govern the distribution of tropical biomes. Ecology Letters, v.15, pp. 759-768, 2012.

HOYOS, L. E.; CINGOLANI, A. M.; ZAK, M. R.; VAIERETTI, M. V.; GORLA, D. E.; CABIDO, M. R. Deforestation and precipitation patterns in the arid Chaco forests of central Argentina. Applied Vegetation Science, v. 16, pp. 260-271, 2013.

HUANG, M.; ZHANG, L. Hydrological responses to conservation practices in a catchment of the Loess Plateau, China. Hydrologycal Processes. v. 18, pp. 1885-1898, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Mapa de Biomas do Brasil – Primeira Aproximação. IBGE, 2004. Disponível em: ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_ Mapas/Mapas_Murais/. Acesso em: Julho de 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica Digital Contínua da Amazônia Legal – BCAL. IBGE/DGC/CCAR, 2011. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapeamento_sistematico/base_cartografica_continua_da_amazonia_legal/. Acesso em: Julho de 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Base Cartográfica Contínua do Brasil, ao Milionésimo - BCIM. IBGE/DGC/CCAR, 2014. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bcim/versao2014/. Acesso em: Outubro de 2015.

ILORME, F.; GRIFFIS, V. W. A novel procedure for delineation of hydrologically homogeneous regions and the classification of ungauged sites for design flood estimation. Journal of Hydrology. v. 492, pp. 151-162, 2013.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). Disponível em: www.inmet.gov.br/portal/index. php?r=bdmep/bdmep. Acesso em: Julho de 2014.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Boletim de Monitoramento e Análise Climática: Climanálise, Número Especial. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), 1996. Disponível em: climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/ boletim/cliesp10a/index1.shtml. Acesso em: Janeiro de 2016.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Previsão Climática: Estação Chuvosa. Boletins. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE). Disponível em:

clima1.cptec.inpe.br/~rclima1/estacao_chuvosa.shtml. Acesso em: Janeiro de 2016.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An Introduction to Applied Geostatistics. Oxford University Press, Inc, New York, NY, 1989, 561 p.

KRASKOV, A.; STOGBAUER, H.; ANDRZEJAK, R. G.; GRASSBERGER, P. Hierarchical clustering using mutual information. Europhysics Letters, v. 70, n. 2, pp. 278-284, 2005.

KUMAR, V.; CHHABRA, J. K.; KUMAR, D. Performance Evaluation of Distance Metrics in the Clustering Algorithms. INFOCOMP, v. 13, n. 1, pp. 38-51, 2014.

LIMA, E. P.; SEDIYAMA, G. C.; ANDRADE, R. G.; LOPES, V. D.; SILVA, B. B. Evapotranspiração real diária em sub-bacias do Paracatu, utilizando produtos do sensor Modis. Revista Ceres, v. 61, n. 1, pp. 017-027, 2014.

LLOYD, J.; GOULDEN, M. L.; OMETTO, J. P.; PATIÑO, S.; FYLLAS, N. M.; QUESADA, C. A. Ecophysiology of Forest and Savanna Vegetation. In: Amazonia and Global Change: Geophysical Monograph Series, v. 186, 2009.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. D. S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 41, n. 2, pp. 205-215, 2006.

MAECHLER, M.; ROUSSEEUW, P.; STRUYF, A.; HUBERT, M.; HORNIK, K.; STUDER, M.; ROUDIER, P. Package 'cluster'. R Package. Version 2.0.3. 2015.

MACÊDO, M. N. C.; DIAS, H. C. T.; COELHO, F. M. G.; ARAÚJO, E. A.; SOUZA, M. L. H.; SILVA, E. Precipitação pluviométrica e vazão da bacia hidrográfica do Riozinho do Rôla, Amazônia Ocidental. Ambi-Agua, Taubaté, v. 8, n. 1, pp. 206-221, 2013.

MAGNUSSON, W. E., LIMA, A. P., ALBERNAZ, A. L. K. M., SANAIOTTI, T. M., & GUILLAUMET, J. L.. Composição florística e cobertura vegetal das savanas na região de Alter do Chão, Santarém–PA. Revista Brasileira de Botânica, v. 31, n. 1, pp. 165-177, 2008.

MARENGO, J. A. On the hydrological cycle of the Amazon basin: a historical review and current stateof-the-art. Revista brasileira de meterologia, v. 21, n. 3a, pp. 1-19, 2006.

MARENGO, J. A.; BORMA, L. S.; RODRIGUEZ, D. A.; PINHO, P.; SOARES, W. R.; ALVES, L. M. Recent Extremes of Drought and Flooding in Amazonia:

Vulnerabilities and Human Adaptation. American Journal of Climate Change, v. 2, pp. 87-96, 2013.

McDONNELL, J. J.; WOODS, R. On the need for catchment classification. Journal of Hydrology, v. 299, pp. 2-3, 2004

McDONNELL, J. J.; SIVAPALAN, M.; VACHE, K.; DUNN, S.; GRANT, G.; HAGGERTY, R.; HINZ, C.; HOOPER, R.; KIRCHNER, J.; RODERICK, M. L.; SELKER, J.; WEILER, M. Moving beyond heterogeneity and process complexity: A new vision for watershed hydrology. Water Resources Research, v. 43, W07301, 2007. doi:10.1029/2006WR005467

MELACK, J. M.; HESS, L. L., GASTIL, M.; FORSBERG, B. R.; HAMILTON, S. K.; LIMA, I. B.; NOVO, E. M. Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing. Global Change Biology, v. 10, n. 5, pp. 530-544, 2004.

MELO JÚNIOR, J. C. F.; SEDIYAMA, G. C.; FERREIRA, P. A.; LEAL, B. G. Determinação de regiões homogêneas quanto à distribuição de frequência de chuvas no leste do Estado de Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 10, n. 2, pp. 408-416, 2006.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. Caderno da Região Hidrográfica Amazônica. MMA, Brasília, 2006, 124 p.

MONTEIRO, P. F. C.; FONTANA, D. C.; SANTOS, T. V.; ROBERTI, D. R. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração para áreas de cultivo de soja no sul do Brasil utilizando imagens do sensor TM Landsat 5. Bragantia, v. 73, n. 1, pp. 72-80, 2014.

MÜLLNER, D. fastcluster: Fast hierarchical, agglomerative clustering routines for R and Python. Journal of Statistical Software, v. 53, n. 9, pp. 1-18, 2013.

MURTAGH, F.; LEGENDRE, P. Ward's Hierarchical Clustering Method: Clustering Criterion and Agglomerative Algorithm. stat, v. 1050, p. 11, 2011.

NAGHETTINI, M; PINTO, E. J. A. Hidrologia estatística. Serviço Geológico do Brasil - CPRM: Belo Horizonte, Brazil, 2007, 552p.

NOBRE, C. A.; OBREGÓN, G. O.; MARENGO, J. A. Características do Clima Amazônico: Aspectos Principais. In: Amazonia and Global Change. Geophysical Monograph, Series 186, Copyright 2009 by the American Geophysical Union.

PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Estudo do comportamento hidrológico do Rio São Francisco e seus principais afluentes. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 11, n. 6, p. 615-622, 2007.

PORTILLO, M. M. T. E.; MENDOZA, P. J. A. S. P.. P. CH. Mahalanobis y las aplicaciones de su distancia estadística. CULCyT, v. 5, n. 27, pp. 13 - 20, 2008.

PRINESS, I.; MAIMON, O.; BEN-GAL, I. Evaluation of gene-expression clustering via mutual information distance measure. BioInformatics, v. 8, n. 111, pp. 1-12, 2007.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; KOEZ, M. Estudo da Vazão em Cursos d`Água. Viçosa: Engenharia na Agricultura. Caderno didático: 43. Associação de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, 2006, 151 p.

PRUSKI, F. F.; NUNES, A.; REGO, F. S., SOUZA, M. Extrapolação de equações de regionalização de vazões mínimas: Alternativas para atenuar os riscos. Water Resources and Irrigation Management, v. 1, n. 1, pp. 51-59, 2012.

PRUSKI, F. F., NUNES, A. D. A., PRUSKI, P. L., & RODRIGUEZ, R. D. G. Improved regionalization of streamflow by use of the streamflow equivalent of precipitation as an explanatory variable. Journal of Hydrology, v. 476, pp. 52-71, 2013.

RAJSEKHAR, D.; MISHRA, A. K.; SINGH, V. P. Regionalization of Drought Characteristics Using an Entropy Approach. Journal of Hydrologic Engineering, v. 18, n. 7, pp. 870-887, 2013.

RALPH, F. M.; DETTINGER, M. D. Storms, floods, and the science of atmospheric rivers. Eos, Transactions American Geophysical Union, v. 92, n. 32, pp. 265-266, 2011.

RAO, A. R., SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. Journal of Hydrology, v. 318, pp. 37-56, 2006.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 25, n. 2, pp. 185-204, 2010.

RFSC - R Foundation for Statistical Computing. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Software. The R Core Team, R Foundation for Statistical Computing, v. 3.0.2, 2013.

ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; CABRAL, O. M.; MILLER, S. D.; GOULDEN, M. L.; SALESKA, S. R.; R.-COUPE, N.; WOFSY, S. C.; BORMA, L. S.; ARTAXO, P.; VOURLITIS, G.; NOGUEIRA, J. S.; CARDOSO, F. L.; NOBRE, A. D.; KRUIJT, B.; FREITAS, H. C.; VON RANDOW, C.; AGUIAR, R. G.; MAIA, J. F. Patterns of water and heat flux across a biome gradient from tropical forest to savanna in Brazil. Journal of Geophysical Research, v. 114, G00B12, doi:10.1029/2007JG000640, 2009a.

ROCHA, H. R.; MANZI, A. O.; SHUTTLEWORTH, J. Evapotranspiration. In: KELLER, M.; BUSTAMANTE, M.; GASH, J.; SILVA DIAS, P. (Org.). Amazonia and Global Change. Washington, DC, US: American Geophysical Union, 2009b, pp. 261-272.

RODRIGUEZ, R. D.; SINGH, V. P.; PRUSKI, F. F.; CALEGARIO, A. T. Using entropy theory to improve the definition of homogeneous regions in the semi-arid region of Brazil. Hydrological Sciences Journal, 2015.

SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, H.; CUNHA, G. R. Avaliação de métodos para a estimativada da evapotranspiração máxima da alfafa. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 2, pp. 37-42, 1994.

SANTOS, E. B.; LUCIO, P. S.; SILVA, C. M. S. Precipitation regionalization of the Brazilian Amazon. Atmospheric Science Letters, v. 16, n. 3, pp. 185-192, 2015.

SHANNON, C. E. A mathematical theory of communications, I and II. The Bell System Technical Journal, v. 27, n. 3, pp. 379-423, 1948.

SHAXSON, F.; BARBER. R. Optimizing soil moisture for plant production: the significance of soil porosity. FAO Soils Bulletin 79, FAO - Food and Agriculture Organization of the united nations, Rome, 2003.

SILVA, S.; SANTOS, M. A.; TEODORO, I.; SOUSA, J. D. S.; DANTAS NETO, J. Estimativa do coeficiente da cultura da cana-de-açúcar em função do índice de área foliar. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 8, n. 3, pp. 212-220, 2013.

SINGH, V. P. Hydrologic Synthesis Using Entropy Theory: Review. Journal of Hydrologic Engineering, v. 16, n. 5, pp. 421-433, 2011.

SOUZA FILHO, J. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; COHEN, J. C. P.. Mecanismos de controle da variação sazonal da transpiração de uma floresta tropical no nordeste da amazônia. Acta Amazonica, v. 35, n. 2, pp. 223 - 229, 2005.

SOUSA, E. P.; SILVA, V. P. R.; CAMPOS, J. H. B. C.; OLIVEIRA, S. D. A Teoria da Entropia na Análise da Precipitação no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 2, pp. 386 - 399, 2012.

SOUSA, H. T., PRUSKI, F. F.; BOF, L. H. N; CECON, P. R.; SOUZA, J. R. C. SisCAH: sistema computacional para análises hidrológicas. Agência Nacional de Águas (ANA), Brasília, DF; Universidade Federal de Viçosa (UFV) Viçosa, MG. 2009, 60 p.

SSEGANE, H.; TOLLNER, E. W.; MOHAMOUD, Y. M.; RASMUSSEN, T. C.; DOWDD, J. F. Advances in variable selection methods I: Causal selection methods versus stepwise regression and principal component analysis on data of known and unknown functional relationships. Journal of Hydrology. v. 438-439, pp. 16-25, 2012a.

SSEGANE, H.; TOLLNER, E. W.; MOHAMOUD, Y. M.; RASMUSSEN, T. C.; DOWDD, J. F. Advances in variable selection methods II: Effect of variable selection method on classification of hydrologically similar watersheds in three Mid-Atlantic ecoregions. Journal of Hydrology. v. 438-439, pp. 26-38, 2012b.

TEIXEIRA, A. H. C.; LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; HERNANDEZ, F. B. T. Determinação da evapotranspiração através de imagens de satélites de diferentes resoluções com e sem a banda termal. Anais... In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, INPE, pp. 5423-5430, 2015.

TSALLIS, C.; CIRTO, L. J. L. Thermodynamics is more powerful than the role to it reserved by Boltzmann-Gibbs statistical mechanics. The European Physical Journal Special Topics, v. 223, n. 11, p. 2161-2175, 2014.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4 ed. Editora da UFRGS/ABRH. Porto Alegre, RS, 2009, 943 p.

VIEIRA, D. L.; AQUINO, F. G.; BRITO, M. A.; FERNANDES-BULHÃO, C. L. A. R. I. S. S. A.; HENRIQUES, R. P. Síndromes de dispersão de espécies arbustivo-arbóreas em cerrado sensu stricto do Brasil Central e savanas amazônicas. Revista Brasileira de Botânica, v. 25, n. 2, pp. 215-220, 2002.

VILANOVA, M. R. N.; SIMÕES, S. J. C.; TRANNIN, I. C. D. B. Geospatial interpolation of reference evapotranspiration (ET_0) in areas with scarce data: case study in the South of Minas Gerais, Brazil. Ambiente & Água, v. 7, n. 2, pp. 179-194, 2012.

ZERZUCHA, P.; WALCZAK, B. Concept of (dis) similarity in data analysis. TrAC Trends in Analytical Chemistry, v. 38, pp. 116-128, 2012.

ANEXO I

Estações do Atlas Pluviométrico do Brasil (CPRM, 2014) e os respectivos dados utilizados

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
1	51002	Navio	-	-50,9247	-0,3992	233	284	306	308	227	251	179	85	52	28	69	100	2119
2	52000	Sao Francisco	-	-52,5692	-0,5678	235	261	315	340	324	232	172	93	43	51	71	125	2263
3	61000	Santa Maria do Boiaçu	149	-61,7864	-0,5053	122	138	209	289	364	299	234	180	146	145	150	128	2406
4	62000	Barcelos	186	-62,9286	-0,9678	172	168	266	310	328	269	186	136	125	111	135	144	2349
5	63000	Cumaru	181	-63,3839	-0,6019	126	137	209	280	311	259	208	154	115	117	127	107	2151
6	65001	Tapuruquara	158	-65,0158	-0,1028	173	166	231	271	331	244	225	147	132	137	173	172	2402
7	66000	Livramento	148	-66,1475	-0,2908	159	158	198	226	264	225	173	146	133	129	139	148	2098
8	67000	São Gabriel da Cachoeira	140	-67,0875	-0,1331	257	215	244	267	329	288	224	200	180	168	223	271	2866
9	150003	Antônio Lemos	-	-50,8089	-1,3608	320	328	396	334	242	216	120	103	121	136	127	229	2671
10	151000	Jarilandia	-	-51,9961	-1,1228	251	282	312	391	371	256	218	128	90	46	75	116	2536
11	151002	Areias	-	-51,2606	-1,2133	321	313	336	351	317	236	185	139	146	110	121	182	2759
12	152005	Almeirim	-	-52,5808	-1,5281	169	215	251	300	293	202	136	69	34	31	61	86	1847
13	152006	Fazenda Bela Vista	-	-53,1528	-1,0744	175	205	221	268	260	215	140	68	39	38	53	96	1778
14	153000	Prainha	-	-53,4808	-1,8036	149	188	247	306	275	168	139	64	29	33	37	64	1699
15	154000	Arapari	-	-54,3811	-1,7761	184	233	280	264	210	117	80	46	40	42	85	106	1687
16	154001	Boca do Inferno	-	-54,8722	-1,5031	191	219	311	334	243	128	92	86	131	108	97	128	2068
17	155000	Oriximina	132	-55,8614	-1,7597	294	314	389	363	302	134	107	76	76	77	117	178	2426
18	156000	Vista Alegre - CONJ.2	124	-56,0533	-1,1303	255	263	383	405	313	197	120	86	104	107	125	142	2501
19	157000	Cach da Porteira - CONJ 1	136	-57,0469	-1,0875	275	279	400	408	347	182	122	96	120	116	142	183	2671
20	157002	Portugues	154	-57,0506	-1,8683	312	309	389	352	276	142	80	60	58	84	123	158	2344
21	159000	Balbina P-8 (UHE Balbina)	216	-59,4833	-1,9381	233	272	347	347	303	168	135	106	120	144	149	189	2514
22	160000	Posto Abonari - Funai	130	-60,3997	-1,2989	217	227	301	339	309	192	136	119	116	127	146	169	2396
23	161002	Moura	163	-61,6347	-1,4567	179	206	244	318	273	194	153	113	110	134	163	160	2247
24	162000	Carvoeiro	188	-61,9783	-1,3944	153	194	236	295	289	226	159	109	118	113	139	151	2182
25	162002	Umanapana	143	-62,4608	-1,8800	187	194	286	309	296	250	197	156	145	143	183	188	2533
26	165000	Maraç	130	-65,5906	-1,8611	201	228	252	276	304	244	200	161	140	141	179	213	2539
27	166000	Acanaui	137	-66,6000	-1,8211	226	242	283	321	339	278	227	196	168	192	193	234	2897

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
28	252001	Itapeua do Para	-	-52,9192	-2,3361	200	268	328	345	260	178	109	31	33	29	50	93	1924
29	253000	Santa Cruz	-	-53,5992	-2,1811	178	269	381	360	301	199	102	48	19	43	49	59	2007
30	254000	Santarem	-	-54,7025	-2,4425	264	331	427	381	306	124	97	63	31	35	62	122	2242
31	254002	Monte Alegre	-	-54,0764	-2,0022	152	217	287	310	262	151	90	47	31	28	43	85	1703
32	254003	Belterra	-	-54,9439	-2,6419	220	248	301	283	251	123	95	49	29	34	81	111	1825
33	256000	Parintins	158	-56,7267	-2,6219	266	327	345	335	266	181	139	74	58	66	113	178	2348
34	256001	Juruti	160	-56,0875	-2,1522	263	284	379	338	271	129	100	41	37	54	100	153	2148
35	256002	Nhamunda	153	-56,7106	-2,1897	306	312	388	321	271	129	88	43	35	65	126	196	2280
36	257000	Urucara	117	-57,7581	-2,5378	290	279	350	286	219	101	82	56	53	83	114	166	2079
37	257001	Barreirinha	149	-57,0644	-2,7922	299	318	383	323	280	183	125	76	66	76	126	187	2443
38	257002	Boa Vista do Ramos	131	-57,5900	-2,9703	307	249	382	298	252	162	122	73	66	63	110	148	2233
39	257003	Mocambo	128	-57,2825	-2,4556	295	308	402	324	258	142	85	51	66	79	135	157	2301
40	259000	Cachoeira Morena	170	-59,3353	-2,1144	241	262	305	313	242	141	117	82	96	111	134	179	2225
41	260006	Novo Airão	150	-60,9425	-2,6272	264	249	301	286	244	134	89	75	105	121	142	211	2222
42	260007	Presidente Figueiredo	131	-60,0258	-2,0417	219	236	288	338	315	202	148	125	147	151	161	193	2521
43	261000	Baruri	138	-61,5417	-2,0250	217	220	299	345	331	233	150	134	135	139	196	199	2597
44	266000	Fonte Boa	149	-66,1667	-2,5333	223	197	267	281	264	209	172	140	170	189	202	220	2534
45	268000	Boa Uniço	120	-68,7986	-2,8806	295	283	286	246	272	225	204	208	167	252	247	299	2983
46	351002	Fazenda Cipauba	-	-51,5681	-3,7231	284	334	348	348	213	76	53	37	56	56	66	163	2034
47	352005	Brasil Novo	-	-52,5411	-3,3103	270	317	398	337	212	95	54	33	37	46	84	138	2023
48	353000	Uruara	-	-53,5544	-3,6778	203	270	288	238	181	82	54	53	77	69	81	140	1736
49	354000	Sítio São Pedro	-	-54,3150	-3,8722	241	280	327	263	175	75	45	40	50	69	110	147	1821
50	356002	Guariba	153	-56,5861	-3,2281	269	277	334	307	239	137	95	61	51	65	107	155	2096
51	357001	Maués	128	-57,7156	-3,4006	265	251	310	274	219	146	105	89	82	85	139	188	2154
52	357003	Mucajá	124	-57,5042	-3,8967	317	298	368	325	240	134	78	79	75	111	154	173	2352
53	358000	Itacoatiara	160	-58,4431	-3,1375	293	297	370	312	244	139	95	77	80	95	129	205	2338
54	358002	Balsa do Rio Urubú	155	-59,0433	-2,9131	275	271	333	281	244	139	90	82	91	122	155	200	2285
55	358003	Osório Fonseca	154	-58,2861	-3,8167	259	304	323	292	217	127	88	68	90	111	138	192	2210
56	359001	Nova Olinda do Norte	24	-59,0897	-3,8847	282	264	317	302	238	156	94	97	99	113	150	221	2332

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
57	360001	Manacapuru	105	-60,6094	-3,3083	289	281	306	282	228	111	84	60	100	125	153	234	2253
58	361000	Beruri	126	-61,3747	-3,8978	269	280	311	302	298	175	119	120	138	138	201	247	2599
59	361001	Caapiranga	158	-61,2133	-3,3297	246	242	268	253	214	113	85	61	96	129	148	212	2067
60	362001	Codajás	167	-62,0833	-3,8333	296	317	389	351	273	136	108	94	127	184	193	318	2787
61	362002	Badajós	130	-62,6786	-3,4183	273	231	273	321	272	148	102	88	113	163	174	248	2405
62	363000	Barro Alto - São Raimundo do Ipixuna	218	-63,7858	-3,8750	240	192	250	221	199	112	88	73	115	122	183	211	2007
63	364000	Tefé - Missies	176	-64,7000	-3,3667	258	232	287	277	253	164	117	96	131	155	186	203	2359
64	366000	Forte das Graças	159	-66,1031	-3,6414	317	305	397	336	272	197	146	157	178	218	254	248	3024
65	367000	Santo Antônio do Içá	154	-67,9356	-3,1017	250	270	261	282	282	199	163	128	144	192	193	247	2611
66	368001	São Paulo de Olivenãa	194	-68,9119	-3,4569	262	271	272	269	252	185	141	146	142	207	210	279	2636
67	369000	Santa Rita do Weil	160	-69,3708	-3,5731	231	237	231	238	208	149	118	120	101	161	179	210	2183
68	454001	Fazenda Marcondes	-	-54,6419	-3,9664	202	219	274	235	175	82	48	43	45	80	94	141	1638
69	455002	Cupari	-	-55,4269	-4,1750	251	273	334	270	196	81	72	83	70	94	132	175	2032
70	455003	Km 1385 BR-163	-	-56,0794	-4,7547	253	255	302	260	172	75	65	70	86	129	134	194	1997
71	455004	Rurupolis Presidente Medici	-	-54,9028	-4,0894	232	253	345	290	232	101	71	61	65	91	117	177	2034
72	459000	Borba	25	-59,5983	-4,3914	245	250	245	248	230	122	93	77	100	131	160	203	2102
73	459001	Niterói (Terra Preta II)	-	-59,2494	-4,7497	253	281	354	275	241	108	77	80	110	124	162	217	2284
74	463001	Coari	157	-63,1333	-4,0833	235	221	278	268	223	122	89	77	94	164	197	243	2211
75	465000	Estirão da Santa Cruz	170	-65,2017	-4,2922	254	246	309	277	192	146	116	98	125	165	180	236	2344
76	466000	Carauari	146	-66,9000	-4,9500	277	268	334	290	225	122	90	84	124	179	222	258	2474
77	466001	Gaviço	153	-66,8506	-4,8392	309	290	299	319	232	160	133	114	137	205	215	280	2691
78	467000	Barreira Alta	100	-67,8925	-4,2211	243	266	295	254	217	147	143	166	176	237	211	273	2627
79	470001	Benjamin Constant	153	-70,0333	-4,3833	288	274	296	279	217	140	112	108	140	213	241	256	2563
80	470002	Estirão do Repouso	162	-70,9667	-4,3833	268	271	280	282	247	186	144	148	154	210	219	268	2677
81	554000	Cajueiro	-	-54,5211	-5,6503	263	292	310	228	165	41	31	34	77	108	145	204	1897

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
82	555000	Km 1326 BR-163	-	-56,0578	-5,1825	313	311	362	299	187	76	43	47	113	147	180	225	2303
83	555002	Km 1130 BR-163	-	-55,4958	-6,6714	290	290	335	247	150	32	11	35	74	160	176	259	2060
84	556000	Jatoba	-	-56,8556	-5,1542	267	248	265	267	207	83	52	66	116	120	147	224	2061
85	560000	Novo Aripuanã	33	-60,3831	-5,1211	291	319	341	285	232	120	80	85	112	162	187	222	2437
86	560001	Recreio (Pedreiras)	-	-60,7006	-5,2964	303	270	279	274	227	83	59	60	84	114	161	223	2137
87	560002	Monte Alegre	-	-60,3736	-5,5892	274	277	278	254	158	73	29	39	58	98	150	187	1874
88	561000	Manicoré	50	-61,3000	-5,8167	312	336	313	313	217	98	52	56	115	185	225	247	2470
89	563000	Seringal Moreira	150	-63,9847	-5,1092	269	252	291	300	222	114	90	90	140	185	200	272	2427
90	567001	Xibaua	150	-67,8569	-5,8936	301	299	299	252	174	116	59	77	106	204	212	272	2372
91	568001	Colocação Caxias	105	-68,9983	-5,3808	359	314	373	306	215	157	107	117	162	237	271	329	2946
92	572000	Palmeiras do Javari	143	-72,8136	-5,1375	282	276	278	305	210	164	101	109	164	224	259	264	2637
93	651001	Boa Esperanãa (Faz.Ometo)	-	-51,7828	-6,7192	266	264	358	260	108	36	17	52	101	163	186	249	2061
94	651002	Projeto Tucuma	-	-51,1547	-6,7514	266	282	285	234	118	41	20	58	127	171	197	230	2028
95	655001	Km 1027 da BR-163	-	-55,2614	-7,5067	299	307	364	251	116	15	11	26	91	174	198	297	2148
96	657000	Jacareacanga	-	-57,7756	-6,2358	301	310	357	262	153	65	27	33	95	151	174	266	2197
97	660000	Seringal Jenipapo	60	-60,1878	-6,0003	307	335	338	266	181	71	37	62	122	163	221	259	2365
98	660001	Natal (Tigre)	-	-60,5167	-6,9333	358	342	356	265	168	64	45	68	122	167	245	303	2504
99	661001	Nova Esperanãa	-	-61,7667	-6,3606	301	295	276	250	193	93	51	63	126	158	195	254	2255
100	664000	Bacaba	113	-64,8861	-6,3192	380	368	330	316	248	116	90	110	167	232	273	377	3005
101	664001	Canutama	154	-64,3839	-6,5375	324	287	334	255	165	79	45	69	118	161	235	279	2351
102	668000	Santos Dumont	134	-68,2439	-6,4417	330	294	329	266	162	94	60	75	100	221	235	312	2478
103	669000	Eirunepé	135	-69,8667	-6,6667	239	249	259	263	151	93	63	74	127	166	215	243	2141
104	669001	Soledade	170	-69,1333	-6,6167	334	302	293	255	173	124	70	84	123	182	282	277	2499
105	670000	Foz do Gregório	147	-70,6500	-6,8000	240	254	261	236	159	112	84	96	137	205	240	273	2297
106	759000	Vila do Apui	147	-59,8922	-7,2008	306	297	291	241	139	39	25	62	116	181	220	237	2152
107	760000	Prainha Velha	107	-60,6436	-7,2050	337	333	354	282	156	72	38	48	129	193	243	338	2523

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
108	760001	Boca do Guariba	60	-60,5783	-7,7053	452	417	400	313	196	61	40	58	169	250	303	442	3101
109	761002	Fazenda Água Azul	-	-61,2442	-7,8228	341	341	387	283	155	35	21	47	111	218	256	307	2501
110	764001	Lábrea	155	-64,8333	-7,2500	308	307	312	263	136	47	34	61	107	200	225	285	2285
111	764003	Cristo	148	-64,2433	-7,4650	371	332	319	284	158	42	35	43	102	183	218	304	2392
112	765000	Cachoeira	178	-66,0514	-7,7025	326	319	338	255	137	62	34	48	101	190	210	344	2364
113	765001	São Bento	107	-65,3500	-7,5189	203	211	202	172	136	69	48	54	92	131	150	181	1649
114	766001	Seringal Fortaleza	167	-66,9847	-7,7172	335	305	320	259	137	72	43	56	110	220	243	340	2439
115	767002	Fazenda Borangaba	154	-67,5592	-7,5500	346	305	285	232	140	60	36	57	81	173	237	303	2256
116	770000	Envira	152	-70,0225	-7,4281	368	360	327	230	174	78	61	83	120	248	305	359	2712
117	771000	Ipixuna	164	-71,6842	-7,0508	250	241	278	272	173	132	101	103	168	239	268	283	2505
118	771001	Fazenda Paranacre	135	-71,4822	-7,9511	253	211	250	206	127	73	45	68	83	160	187	246	1908
119	772000	Cruzeiro do Sul	149	-72,6811	-7,6111	233	256	274	219	148	80	65	75	118	195	218	236	2118
120	772002	Seringal Boa Fé	148	-72,3336	-7,2358	287	272	285	261	173	103	66	72	126	200	242	255	2342
121	773000	Serra do Moa	149	-73,6522	-7,4356	263	269	303	250	185	119	92	82	141	209	244	255	2413
122	857000	Santa Rosa	212	-57,4164	-8,8703	345	315	318	240	98	12	10	33	106	169	198	324	2167
123	862000	Tabajara	96	-62,0539	-8,9333	323	304	296	229	126	33	22	47	113	189	219	309	2210
124	863000	Porto Velho	95	-63,9167	-8,7667	332	295	290	215	100	33	19	52	79	167	203	298	2082
125	863005	Sítio Vista Alegre (Sta.Maria)	-	-63,6475	-8,0978	351	304	322	240	104	50	23	52	85	168	240	320	2260
126	865000	Fazenda Sheffer	179	-65,7194	-8,3344	280	338	314	211	104	34	19	49	89	191	240	275	2145
127	867001	Boca do Acre	160	-67,4003	-8,7356	253	281	296	196	98	30	23	34	80	184	233	260	1968
128	870000	Tarauacá (Seabra)	155	-70,7667	-8,1667	272	268	318	200	124	61	51	65	111	187	245	268	2172
129	870002	Feijó	153	-70,3564	-8,1636	256	223	227	204	136	58	48	54	111	195	224	257	1993
130	872000	Taumaturgo	139	-72,7850	-8,9353	206	191	209	159	92	39	34	47	74	119	180	197	1548
131	872001	Porto Walter	166	-72,7344	-8,2675	290	271	350	267	154	94	59	78	116	193	229	290	2391
132	954001	Cachimbo	-	-54,8858	-9,8172	346	361	355	212	70	9	6	25	113	222	260	337	2316
133	960001	Concisa	-	-60,6906	-9,8000	336	286	301	183	71	24	7	26	73	146	218	301	1972
134	961003	Fábio (Boliche)	-	-61,9789	-9,6814	315	356	351	194	87	23	17	14	77	165	253	285	2136

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
135	962000	Mineração Oriente Novo	-	-62,3939	-9,5864	336	302	303	190	100	27	11	29	94	176	239	320	2126
136	962001	Mineração Jacundá	86	-62,9531	-9,1792	411	332	388	237	115	41	18	27	99	172	252	325	2417
137	963000	Ariquemes	168	-63,0569	-9,9317	276	292	258	168	98	13	11	30	94	164	200	254	1859
138	963001	Santo Antônio BR-364	96	-63,1619	-9,2606	359	306	322	228	113	32	12	23	91	161	212	272	2131
139	963004	Fazenda Rio Branco	137	-62,9878	-9,8872	362	309	300	197	97	20	14	23	84	189	254	323	2172
140	964001	Palmeiral	-	-64,8122	-9,5164	246	260	241	175	100	42	26	35	94	140	194	244	1796
141	965001	Abunã	-	-65,3647	-9,7031	282	226	237	175	100	40	23	39	80	158	189	228	1778
142	966000	Nova California	153	-66,6117	-9,7556	302	292	283	216	123	31	21	36	108	144	232	255	2042
143	966001	Pedreiras	-	-65,9931	-9,6903	290	285	250	210	90	40	30	32	87	158	228	262	1961
144	967000	Rio Branco	169	-67,8000	-9,9758	278	294	254	185	96	34	38	51	91	154	195	243	1915
145	967004	Restaurante Porteira do Amazonas	164	-67,2833	-9,4333	295	327	298	217	117	41	32	27	82	158	214	257	2065
146	968001	Seringal da Caridade	203	-68,5772	-9,0439	284	261	232	161	108	48	29	39	81	137	222	231	1832
147	969001	Seringal Guarany	127	-68,9933	-9,1103	294	274	249	195	106	33	24	43	93	168	214	269	1962
148	972000	Foz do Breu	192	-72,7025	-9,4017	273	237	280	223	117	64	53	53	94	168	193	249	2005
149	1052000	Vila São José do Xingu	-	-52,7378	-10,8044	328	305	297	157	46	13	6	18	111	208	233	333	2054
150	1053001	Fazenda Santa Emília	-	-53,6089	-10,5392	373	315	292	185	43	2	2	11	94	186	245	333	2082
151	1054000	Agropecuária Cajabi	-	-54,5461	-10,7461	330	311	275	172	53	7	4	16	91	184	226	301	1969
152	1055001	Indeco	-	-55,5700	-10,1125	329	316	288	200	75	13	12	28	99	184	213	311	2066
153	1055002	Colider	-	-55,4486	-10,7986	316	293	253	172	51	6	8	14	91	166	210	288	1868
154	1057000	Fazenda Agrotep	-	-57,5811	-10,8814	327	316	302	200	55	11	1	18	103	189	237	344	2104
155	1057001	Trivelato	341	-57,1319	-9,9414	355	307	341	232	62	8	7	24	93	202	261	367	2258
156	1058002	Núcleo Ariel	-	-58,2469	-9,8561	297	298	300	170	59	11	4	27	75	149	216	287	1894
157	1058003	Juruena	-	-58,4981	-10,3322	349	324	306	211	55	12	6	21	84	171	221	324	2083
158	1058005	Vale do Natal	-	-58,8675	-10,5881	328	322	316	174	58	10	8	20	69	157	239	305	2007
159	1059000	Humboldt	181	-59,4508	-10,1747	336	355	301	184	69	19	11	21	78	148	223	276	2021
160	1061001	Jiparaná	156	-61,9306	-10,8494	324	275	274	175	77	20	9	24	81	150	215	294	1917

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
161	1061003	Rondominas (Barrocas)	-	-62,0014	-10,5169	357	326	330	210	83	11	13	22	76	185	245	319	2177
162	1062001	Jaru	146	-62,4656	-10,4458	302	296	314	203	75	18	14	35	90	168	213	267	1995
163	1062002	Seringal 70	217	-62,6272	-10,2364	320	268	300	190	81	19	9	31	79	152	219	253	1922
164	1062003	Mirante da Serra	-	-62,6561	-11,0036	282	274	267	174	77	16	19	36	80	135	187	203	1752
165	1062004	Theobroma	-	-62,3458	-10,2364	322	318	287	176	88	25	14	26	79	179	250	272	2036
166	1063000	Escola Caramurú	151	-63,6461	-10,5050	373	350	308	219	98	27	19	42	107	166	234	328	2270
167	1063001	Mineração Ponte Massangana	-	-63,4167	-10,3500	331	273	273	174	88	33	28	47	130	177	197	279	2031
168	1065002	Guajará-Mirim	-	-65,3478	-10,7925	253	222	220	147	78	21	16	30	75	121	177	223	1583
169	1067002	Plácido de Castro	-	-67,1828	-10,3369	263	272	292	180	83	24	17	49	94	171	212	242	1897
170	1067003	Vila Capixaba	-	-67,6767	-10,5758	222	257	240	151	71	31	13	39	73	128	166	207	1598
171	1068000	Xapuri	147	-68,5067	-10,6497	261	231	249	169	69	27	23	33	85	138	196	227	1709
172	1069000	Assis Brasil	116	-69,5667	-10,9333	238	252	202	155	74	16	24	26	71	137	213	216	1624
173	1152000	Suia Liquilôndia	-	-51,6964	-11,7219	293	248	242	130	45	3	2	5	72	179	238	305	1761
174	1152001	Espigão	-	-52,2347	-11,3900	268	203	228	121	48	4	3	10	75	162	196	287	1605
175	1155000	Cachoeirão	-	-55,7017	-11,6531	299	265	239	138	33	5	2	6	62	146	221	290	1706
176	1156000	Fazenda Itauba	-	-56,4244	-11,4714	300	285	283	180	34	10	3	13	90	165	230	297	1889
177	1156001	Sinop (Fazenda Sempre Verde)	-	-55,4639	-11,7106	340	305	269	167	35	4	2	16	75	183	272	310	1977
178	1157001	Juara	-	-57,5058	-11,2525	321	329	281	163	51	13	2	20	82	162	196	291	1912
179	1158001	Fontanilhas	-	-58,3369	-11,3408	335	309	308	144	46	7	0	16	64	141	205	318	1893
180	1158002	Juína	-	-58,7178	-11,4086	327	309	326	177	50	10	3	18	83	166	262	304	2036
181	1158003	Fazenda Tombador	-	-58,0725	-11,7772	346	314	279	151	40	8	3	16	72	135	210	315	1888
182	1159000	Boteco dos Mineiros	-	-59,3250	-11,8186	315	286	267	147	58	10	4	24	49	155	197	285	1797
183	1160000	Marco Rondon	-	-60,8550	-12,0153	346	290	306	166	69	21	17	28	77	162	218	291	1991
184	1160002	Fazenda Flor do Campo	185	-60,8678	-11,7489	312	306	284	151	75	27	29	39	85	161	205	282	1956
185	1161000	Vista Alegre	-	-61,4839	-11,4408	340	299	292	162	62	17	14	26	87	149	221	274	1943

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
186	1161001	Pimenta Bueno	-	-61,1922	-11,6836	323	315	288	159	69	18	10	25	83	160	214	274	1937
187	1161002	Rolim de Moura	-	-61,7764	-11,7497	280	267	271	153	57	17	11	26	81	167	223	283	1837
188	1166000	Riberalta 045	135	-66,0833	-11,0167	291	278	263	189	72	27	17	28	76	163	235	276	1915
189	1168001	Brasiléia	159	-68,7350	-11,0233	246	226	204	152	58	32	22	43	81	137	210	188	1598
190	1251001	Divínea	-	-51,8264	-12,9397	278	243	232	111	22	7	1	7	51	142	216	293	1602
191	1255002	Núcleo Colonial Rio Ferro	-	-54,9106	-12,5161	284	319	246	117	36	5	4	4	50	156	234	308	1763
192	1257000	Brasnorte	-	-57,9992	-12,1169	321	302	295	145	40	5	2	9	49	153	220	294	1834
193	1262000	Pedras Negras	152	-62,8992	-12,8514	277	252	244	129	67	20	10	19	74	166	215	265	1740
194	1264000	Principe da Beira	-	-64,4225	-12,4269	242	231	208	137	57	12	12	16	43	118	162	188	1426
195	1352000	Fazenda Sete de Setembro	-	-52,4119	-13,8806	274	240	242	89	22	5	1	7	54	139	185	290	1547
196	1352001	Garapu	-	-52,4544	-13,4956	321	275	247	106	26	5	1	9	43	157	203	328	1721
197	1354000	Fazenda Agrochapada	-	-54,2806	-13,4467	333	313	261	122	36	6	2	11	51	181	199	332	1848
198	1355001	Porto Roncador	-	-55,3317	-13,5564	324	310	229	118	40	10	1	15	57	145	216	310	1776
199	1356002	Nova Mutum	-	-56,0842	-13,8206	338	297	249	156	43	13	6	13	54	183	240	289	1882
200	1357000	Nova Maringá	-	-57,0906	-13,0275	329	269	266	123	27	9	4	14	56	134	201	249	1683
201	1358001	Bacaval	-	-58,2875	-13,6417	336	260	289	163	37	12	6	33	72	165	194	276	1844
202	1358002	Fazenda Tucunaré	-	-58,9750	-13,4667	379	284	294	181	57	16	8	30	79	173	217	323	2041
203	1359000	Padronal	-	-59,8781	-13,1808	363	322	313	169	80	14	8	24	74	163	256	312	2097
204	1359001	Vila Alegre	-	-59,7686	-13,7786	292	291	316	182	65	11	7	25	66	161	235	254	1905
205	1360000	Colorado do Oeste	-	-60,5483	-13,1142	316	269	252	168	83	20	11	32	101	174	229	291	1946
206	1360001	Cerejeira	-	-60,8233	-13,1967	324	280	244	138	60	20	10	20	67	147	191	279	1779
207	1360002	Pimenteiras	-	-61,0464	-13,4797	410	312	302	172	87	13	7	21	69	204	283	391	2271
208	1453000	Passagem da BR-309	-	-53,9986	-14,6119	372	270	275	125	42	12	5	16	70	173	275	372	2007
209	1454000	Paranatinga	-	-54,0489	-14,4186	337	253	249	134	42	11	6	14	74	162	243	331	1856
210	1457003	Deciolôndia	-	-57,5067	-14,1839	329	293	277	178	61	17	8	30	75	180	239	315	2003

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
211	1458002	Brasfor	-	-58,2342	-14,3853	253	209	252	161	48	16	8	22	58	142	210	235	1613
212	1559000	Pontes e Lacerda 1	240	-59,3536	-15,2156	246	218	207	122	50	15	10	24	43	94	155	204	1388
213	1559000	Pontes e Lacerda 2	240	-59,3536	-15,2156	254	236	216	124	54	17	10	23	46	95	150	219	1445
214	1559006	Mato Grosso 1	200	-59,9492	-15,0075	251	242	185	123	57	20	11	21	43	97	148	196	1395
215	1559006	Mato Grosso 2	200	-59,9492	-15,0075	256	219	185	113	50	21	18	21	49	91	142	207	1371
216	1560000	Fazenda Areiço 1	185	-60,0317	-15,4003	189	217	168	130	49	13	16	19	33	99	138	186	1258
217	1560000	Fazenda Areiço 2	185	-60,0317	-15,4003	214	201	172	133	50	14	16	19	34	88	150	199	1290
218	8050000	Carmo	-	-50,7478	0,5083	225	304	318	357	249	214	121	46	12	14	26	106	1992
219	8051010	Porto Ariri	-	-51,1267	0,3036	250	317	384	371	292	213	140	54	16	16	41	126	2220
220	8052000	Serra do Navio	-	-52,0014	0,9006	244	259	333	328	315	212	176	136	80	80	77	155	2394
221	8060000	Fazenda São José	148	-60,4661	0,5178	80	66	106	210	309	322	246	189	117	92	92	71	1901
222	8062000	Posto Ajuricaba	168	-62,6222	0,8842	78	92	118	200	334	279	235	183	141	100	93	75	1928
223	8069000	Iauaretê	155	-69,1917	0,6022	228	222	271	344	389	328	308	253	210	222	215	222	3213
224	8069003	Pari Cachoeira	127	-69,7844	0,2517	214	247	248	319	364	319	306	242	222	203	220	230	3135
225	8150000	Aporema	-	-50,8964	1,2267	300	345	425	395	335	223	159	66	22	27	43	130	2471
226	8151000	Itaubal do Amapá	-	-50,9025	1,5806	484	510	605	605	519	329	217	116	42	28	87	245	3788
227	8154000	Apalai	-	-54,6561	1,2203	230	203	249	324	355	208	156	97	38	30	41	93	2023
228	8160001	Fazenda Paraná	148	-60,3994	1,1264	62	47	102	200	373	378	285	202	141	102	92	59	2043
229	8160003	Agropecuária Boa Vista	143	-60,7675	1,4608	64	47	75	170	398	413	351	247	135	99	83	56	2138
230	8161001	Caracarai	157	-61,1236	1,8214	52	48	90	189	311	347	275	197	115	77	91	62	1854
231	8166000	Cucuí	160	-66,8522	1,2147	210	212	239	285	378	319	281	250	194	192	217	224	3000
232	8250002	Calcoene	-	-50,9508	2,4956	569	569	555	647	682	367	193	87	42	42	103	301	4158
233	8250003	Amapá	-	-50,7881	2,0547	563	561	535	593	517	302	168	78	23	28	65	259	3691
234	8251001	Cunani	-	-51,3614	2,6983	483	513	511	560	560	285	199	92	27	27	70	287	3615
235	8259000	Fazenda Verdum	175	-59,9183	2,4189	41	30	56	144	368	361	310	196	101	74	74	35	1790

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	Precipitações totais médias (mm) de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
236	8260000	Boa Vista	154	-60,6617	2,8297	36	30	57	137	322	368	293	205	99	63	71	39	1720
237	8260003	Fazenda Castelão	158	-60,3250	2,7619	33	48	51	128	325	322	308	213	88	55	45	37	1654
238	8261000	Fé e Esperanãa	158	-61,4406	2,8708	54	41	53	174	343	354	308	201	121	100	89	54	1893
239	8263000	Missão Surucucu	147	-63,6417	2,8358	182	150	139	229	292	270	203	185	117	132	132	133	2164
240	8351002	Clevelôndia - Oiapoque	-	-51,8311	3,8425	406	361	334	443	563	363	194	100	37	63	118	262	3243
241	8359000	Bom Fim	151	-59,8239	3,3597	27	30	26	108	314	354	342	212	99	63	52	31	1658
242	8360002	Fazenda Passarão	184	-60,5711	3,2078	23	19	32	108	223	312	248	189	86	58	50	28	1377
243	8361000	Fazenda São João	141	-61,3839	3,6608	60	54	73	148	332	340	309	219	108	86	91	67	1888
244	8361001	Boqueirão	174	-61,2881	3,2906	46	32	52	130	307	322	309	234	103	77	85	48	1746
245	8361004	Colônia do Taiano	184	-61,0883	3,2872	44	26	50	142	307	346	285	196	78	68	83	40	1666
246	8461000	Nova Esperanãa/Marco BV-8	85	-61,1317	4,4514	77	47	94	172	324	390	388	297	198	129	126	89	2331

APÊNDICE A

Configurações e códigos para as análises no programa R

```
####### CONFIGURAÇÕES do R ########

#verificar o separador decimal
getOption("OutDec")

#alterar separador decimal para vírgula ou ponto, dependendo do input, exemplo:
options(OutDec=",")

#verificar diretório de trabalho
getwd()

#selecionar diretório de trabalho, exemplo:
setwd("E:/Doutorado/Tese/Estacoes/DADOS_CPRM_ATLAS_PLU/R_analises")

#lista de arquivos no diretório de trabalho
dir()

#Configurar interface gráfica para melhorar visualização dos resultados no console
  (Menu -> Editar -> Preferências de interface gráfica). Sugestão: acrescentar 4 zeros
  em 'buffer chars' e em 'lines'

#Instalação de pacotes (incluindo pacotes dos quais dependem para funcionar)
install.packages("nome do pacote", dependencies=TRUE)

#Carregar pacotes (Menu -> Pacotes -> Carregar pacote...). Nota: para este estudo
  foram utilizados os pacotes 'stats' (cálculo da correlação), 'entropy' (cálculo da
  entropia empírica), 'BioPhysConnectoR' (cálculo da matriz de distâncias com base
  na entropia/informação mútua), e 'cluster' (análise de agrupamentos).

####### CARREGAR DADOS ########
#Formato da planilha de entrada de dados .CSV (delimitado por vírgula)

#               Variável1 Variável2 Variável3 ... Frequência1 Frequência2 Frequência3
                ...
```

#Estação1

#Estação2

#Estação3

.

.

.

#Obs1.: Variável1, Variável2, Variável3,... recebe os valores de precipitação total média dos meses de Janeiro, Fevereiro, Março, ... , podendo ser utilizadas diversas variáveis. Por exemplo, neste estudo também foram utilizados os valores de entropia própria, densidade de entropia, entropia indexada, e mês de ocorrência das mínimas como variáveis de entrada na análise de cluster

#Obs2.: Frequência1, Frequência2, Frequência3, ... correspondem a quantas vezes ocorreram valores dentro de determinada classe pré-estabelecida, necessário para análises de entropia.

#Obs3.: as classes de ocorrência, as frequências, assim como os valores de entropia própria, densidade de entropia, entropia indexada e mês de ocorrência das mínimas foram calculadas em uma planilha antes do seu carregamento no programa R.

#Ler a planilha de entrada de dados no programa R

dados<-read.table("PLU_R.csv",header=TRUE,sep=";",dec=",")

#Nota: significa que ‘dados’ receberá todos os valores da planilha "PLU_R.csv"

####### DEFINIÇÃO DE VARIÁVEIS ########

#definir variavel(eis) para os cálculos, exemplo:

vars<-dados[,6:17]

freqs<-dados[,22:26]

H<-dados[,19]

DE<-dados[,21]

Hipmp<-dados[,29:30]

#Nota1: Deve-se observar quais linhas e colunas serão utilizadas nos cálculos. Neste exemplo, foram utilizados os dados de todas as estações (todas as linhas) e definida a variável o conjunto de variáveis a serem utilizados em cada caso. Por exemplo, 'vars' recebe os valores de todas as linhas da planilha 'dados' e das colunas 6 a 17, correspondentes às precipitações totais médias de todos os meses do ano. Este conjunto de variáveis é utilizado para o cálculo das distâncias euclidianas e dos coeficientes de correlação entre as estações.

#Nota2: Da mesma forma, 'freqs' recebe os valores de todas as linhas da planilha considerando as colunas 22 a 26, correspondentes às frequências de todas as classes pré-estabelecidas, calculados previamente. Estes dados são utilizados para o cálculo da entropia mútua e da informação mútua entre as estações.

#Nota3: Os valores de H (entropia própria), densidade de entropia (DE), entropia indexada e meses de ocorrência das mínimas, ambos padronizados (Hi_pm_p), também foram calculados previamente.

####### ENTROPIA ##########

##Definição dos vetores de frequências

#Transpor tabela de frequências (transforma linhas em colunas e vice-versa)

freqs1<-t(freqs)

#Vetores

y1=c(freqs1[1:5,1])

y2=c(freqs1[1:5,2])

#Cálculo da Entropia própria, ou marginal (em unidades hartley - log10)

entropy.empirical(y1,unit="log10")

entropy.empirical(y2,unit="log10")

```
##Matriz de distâncias pela Entropia/Informação Mútua
#Instalar pacote 'BioPhysConnectoR' (Obs.: também devem ser instalados os pacotes 'snow' e 'matrixcalc', dos quais é dependente)
#Carregar pacote 'BioPhysConnectoR' (Método "ORMI" corresponde ao Método Original de cálculo da Entropia Mútua). Obs.: Também trabalha com a tabela de frequências transposta 'freqs1'
mi<-get.mie(freqs1, method = "ORMI")
hxy<-get.entropy2p(freqs1)


######## ANÁLISE DE CLUSTERS ########
#cálculo das distâncias euclidianas
d<-dist(vars,method="euclidean")

#Cálculo das distâncias de pearson (r) -> (usa a tabela transposta)
vars1<-t(vars)
dr<-as.dist(1 - cor(vars1))

#Informação mutua como distância (máximo valor de informação mútua/entropia mútua)
dMI<-as.dist(1-mi/hxy)

#Análise de agrupamento pelo método Ward (neste caso, foi colocado apenas a título de exemplo a análise de agrupamentos utilizando a distância euclidiana "d", mas pode ser utilizado o mesmo processo para diferentes medidas de similaridade/dissimilaridade)
grupos_dEucl<-hclust(d,method="ward")

#construir o dendograma (dados,xlab="título eixo x",ylab="título eixo y",main="título gráfico",las="gira o texto do eixo x-número inteiro entre 0 e 3",cex=tamanho da fonte)
plot(grupos_dEucl,xlab="grupos",ylab="h",main="Dendograma
d(Euclidiana)",las=0,cex= 1/3)
```

```
#Construir retângulas no dendograma para delimitar os grupos, neste caso optou-se
  por 5 grupos (k=5). No lugar do ‘k’, poderia ter sido definida uma altura de
  separação ‘h’ para a delimitação dos grupos.
rect.hclust(grupos_dEucl,k = 5, border="red")

#Identificar a qual grupo cada estação pertence. Neste caso, optou-se pela altura de
  separação h=20 resultando em 5 grupos. Também poderia ter sido determinado o
  número de 5 grupos utilizando o k=5.
grupos1<-cutree(grupos_dEucl,h=20)
grupos1

#Nota: Após este procedimento, tem-se o número do grupo/cluster ao qual pertence
  cada objeto. Basta copiar e colar em alguma planilha eletrônica utilizando a opção
  de importação de texto, optando pela separação dos objetos por espaço.
```

APÊNDICE B

Resultados das simulações dos valores de entropia indexada (Hi)

Classes	f≤80	80<f≤160	160<f≤240	240<f≤320	320<f≤400	400<f≤480	480<f≤560	560<f≤640	f>640	N
i(1,...,K)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Simulação					$f(X_i)$					
1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	12
2	0	12	0	0	0	0	0	0	0	12
3	0	0	12	0	0	0	0	0	0	12
4	0	0	0	12	0	0	0	0	0	12
5	0	0	0	0	12	0	0	0	0	12
6	0	0	0	0	0	12	0	0	0	12
7	0	0	0	0	0	0	12	0	0	12
8	0	0	0	0	0	0	0	12	0	12
9	0	0	0	0	0	0	0	0	12	12
10	0	0	0	2	2	2	2	2	2	12
11	1	1	1	1	1	1	2	2	2	12
12	1	1	1	2	2	2	1	1	1	12
13	1	1	2	2	2	1	1	1	1	12
14	1	2	2	2	1	1	1	1	1	12
15	2	2	2	1	1	1	1	1	1	12

Classes	$p_j \leq 80$	$80 < p_j \leq 160$	$160 < p_j \leq 240$	$240 < p_j \leq 320$	$320 < p_j \leq 400$	$400 < p_j \leq 480$	$480 < p_j \leq 560$	$560 < p_j \leq 640$	$p_j > 640$	Hi
i(1,...,K)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Simulação					$[P(X_i)+i]*\log[P(X_i)+i^i]$					Σ
1	0,60									0,60
2		2,10								2,10
3			5,79							5,79
4				12,05						12,05
5					20,97					20,97
6						32,68				32,68
7							47,33			47,33
8								65,02		65,02
9									85,88	85,88
10				10,04	18,06	28,79	42,40	59,00	78,73	237,01
11	0,04	1,27	4,42	9,83	17,77	28,40	42,40	59,00	78,73	241,85
12	0,04	1,27	4,42	10,04	18,06	28,79	41,90	58,40	78,01	240,92
13	0,04	1,27	4,54	10,04	18,06	28,40	41,90	58,40	78,01	240,66
14	0,04	1,34	4,54	10,04	17,77	28,40	41,90	58,40	78,01	240,44
15	0,08	1,34	4,54	9,83	17,77	28,40	41,90	58,40	78,01	240,28

Classes	$p_j \leq 80$	$80 < p_j \leq 160$	$160 < p_j \leq 240$	$240 < p_j \leq 320$	$320 < p_j \leq 400$	$400 < p_j \leq 480$	$480 < p_j \leq 560$	$560 < p_j \leq 640$	$p_j > 640$	H
i(1,...,K)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Simulação	$P(X_i)*\log P(X_i)$									$-\Sigma$
1	0									0
2		0								0
3			0							0
4				0						0
5					0					0
6						0				0
7							0			0
8								0		0
9									0	0
10				-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	0,78
11	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,13	-0,13	-0,13	0,93
12	-0,09	-0,09	-0,09	-0,13	-0,13	-0,13	-0,09	-0,09	-0,09	0,93
13	-0,09	-0,09	-0,13	-0,13	-0,13	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	0,93
14	-0,09	-0,13	-0,13	-0,13	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	0,93
15	-0,13	-0,13	-0,13	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	-0,09	0,93

APÊNDICE C

Agrupamentos utilizando o método Ward tomando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana e a correlação de Pearson (1 – r), considerando 4, 5 e 6 grupos

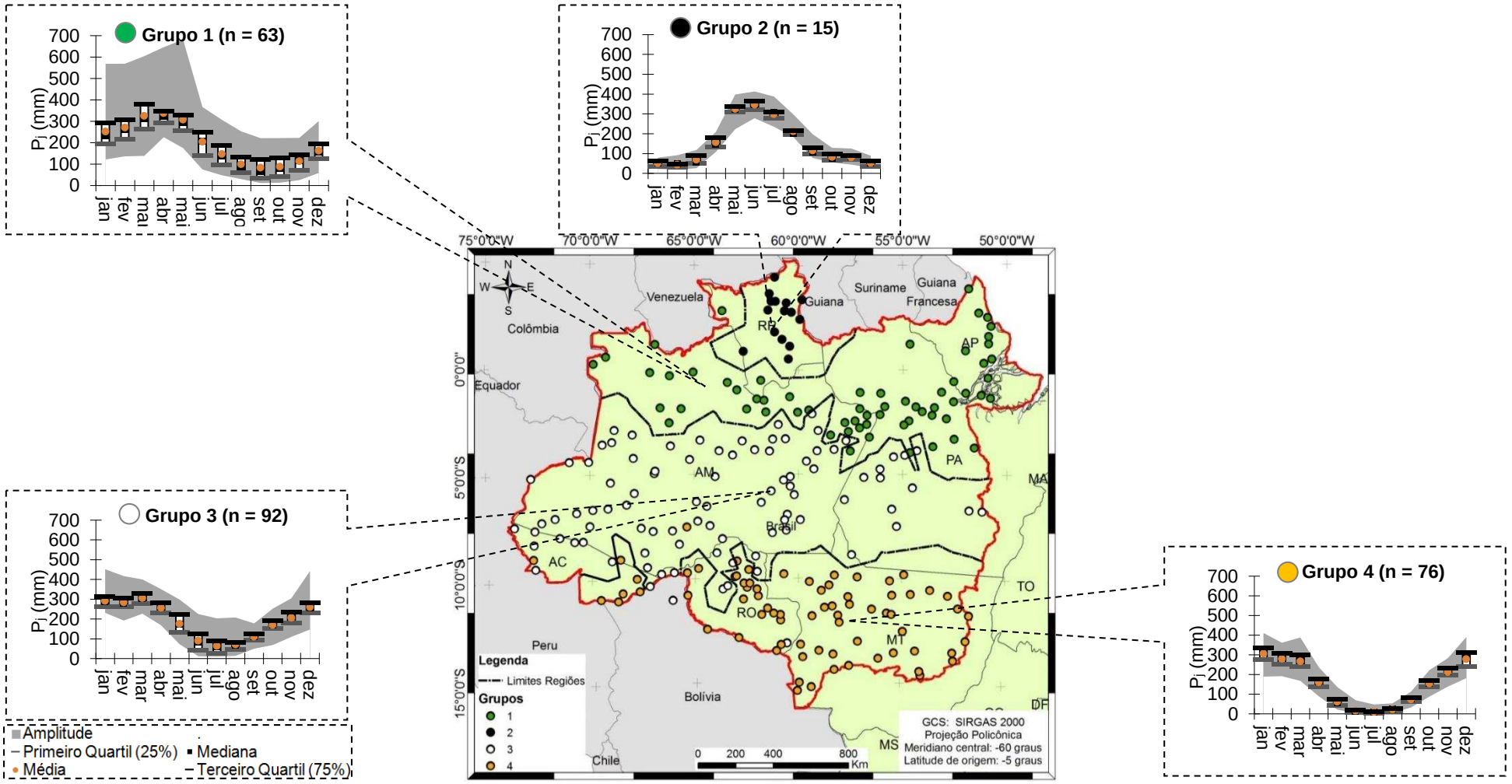


Figura 23 - Agrupamento das estações pluviométricas em quatro grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações totais médias mensais como variáveis.

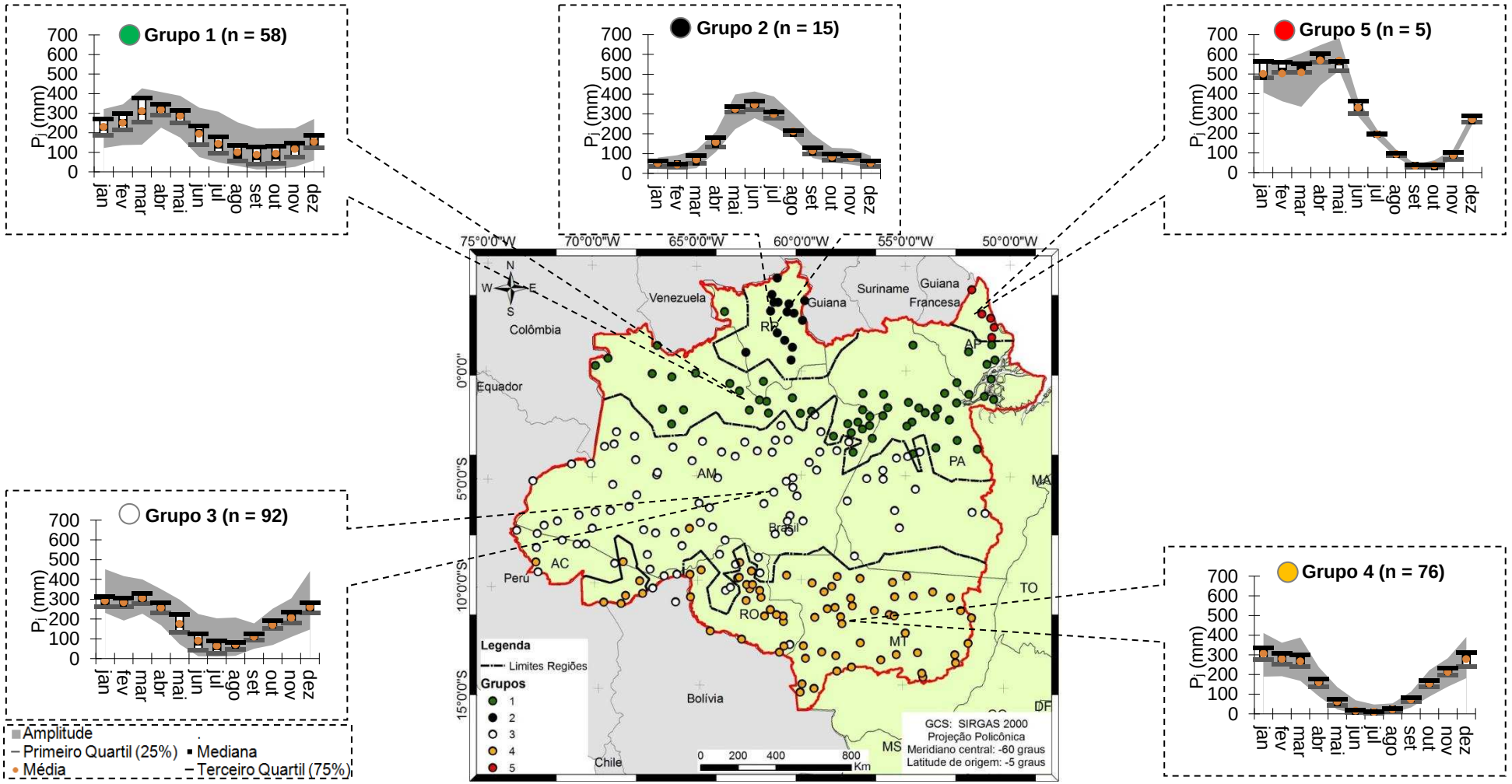


Figura 24 - Agrupamento das estações pluviométricas em cinco grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações totais médias mensais como variáveis.

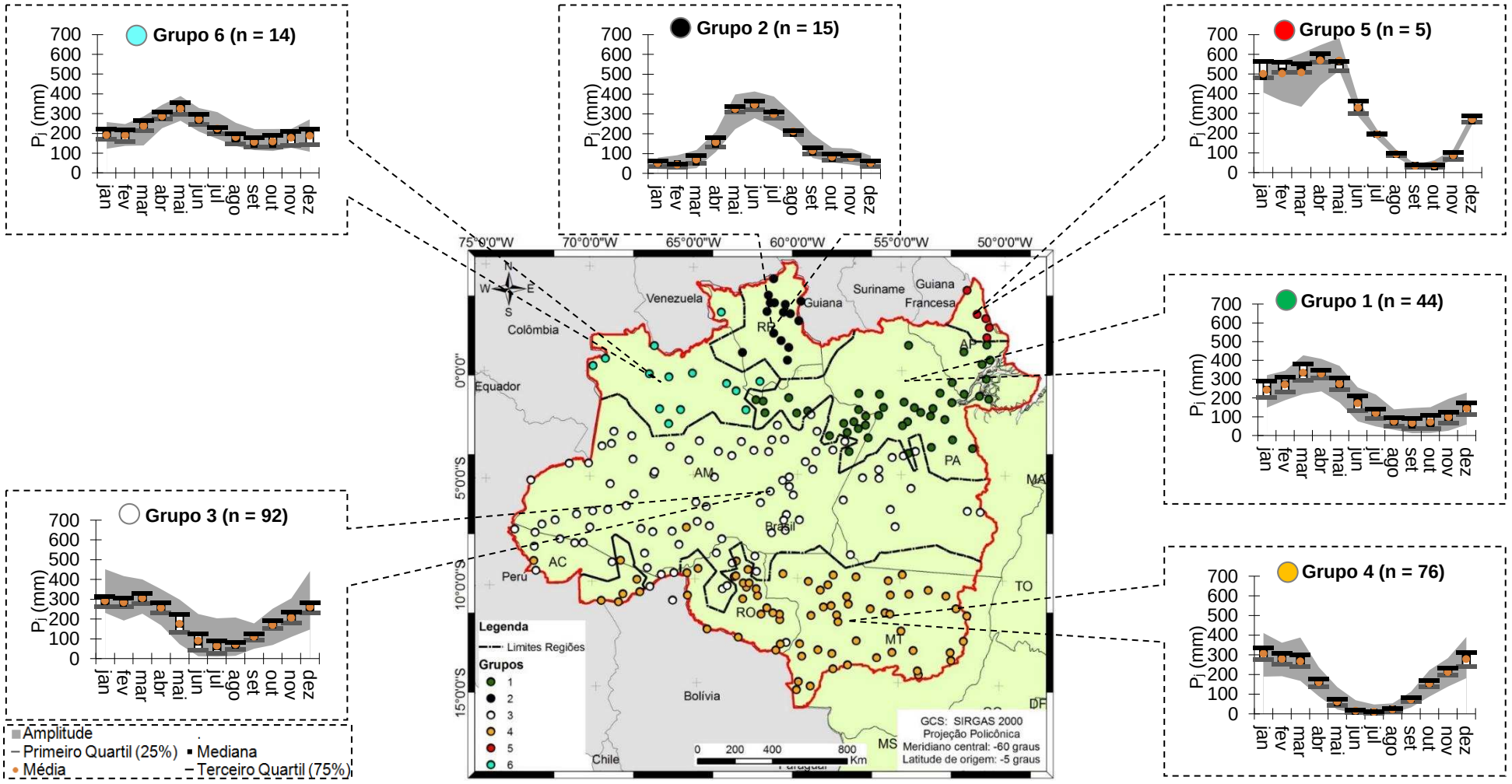


Figura 25 - Agrupamento das estações pluviométricas em seis grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando as precipitações totais médias mensais como variáveis.

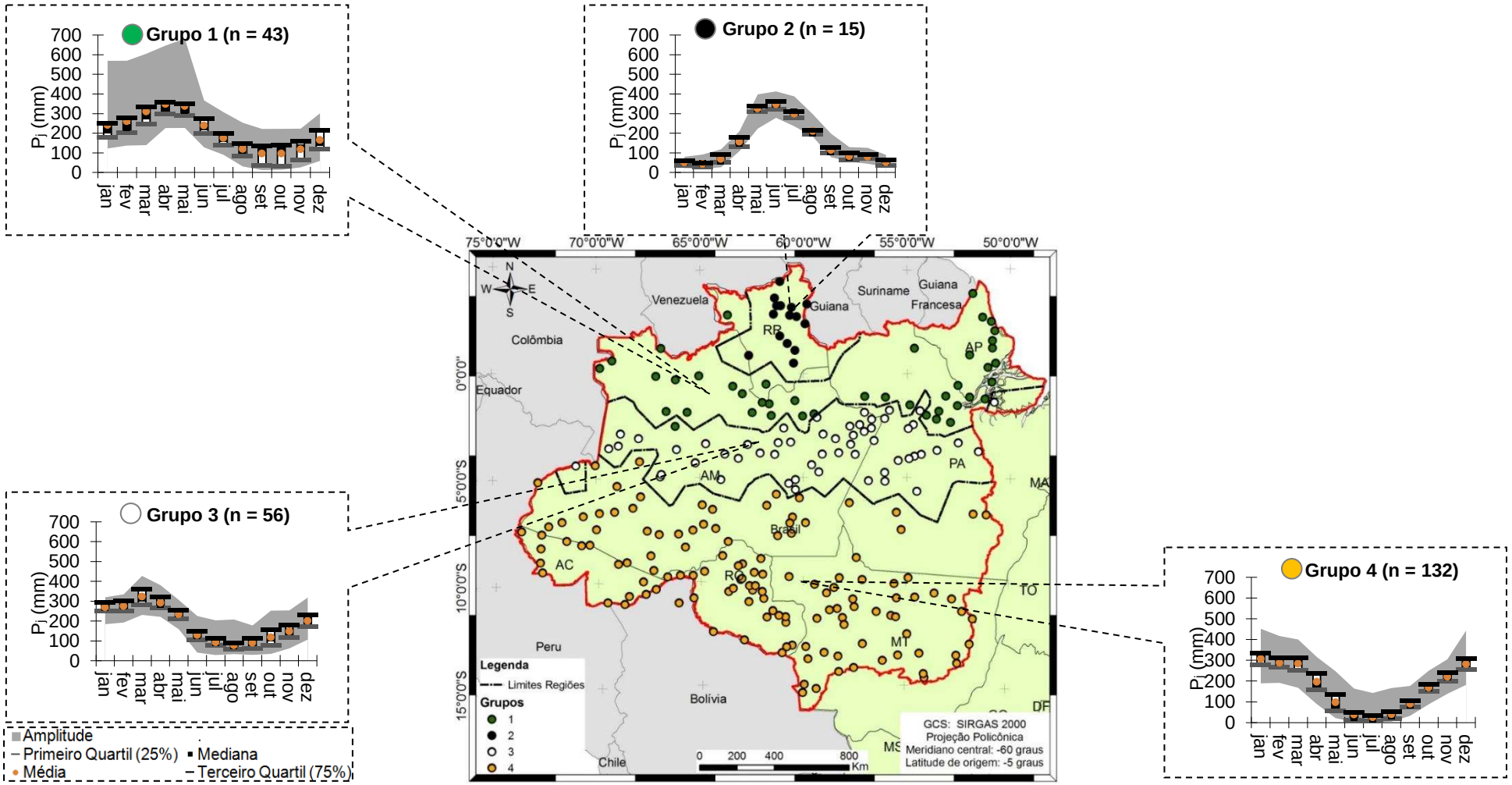


Figura 26 - Agrupamento das estações pluviométricas em quatro grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais.

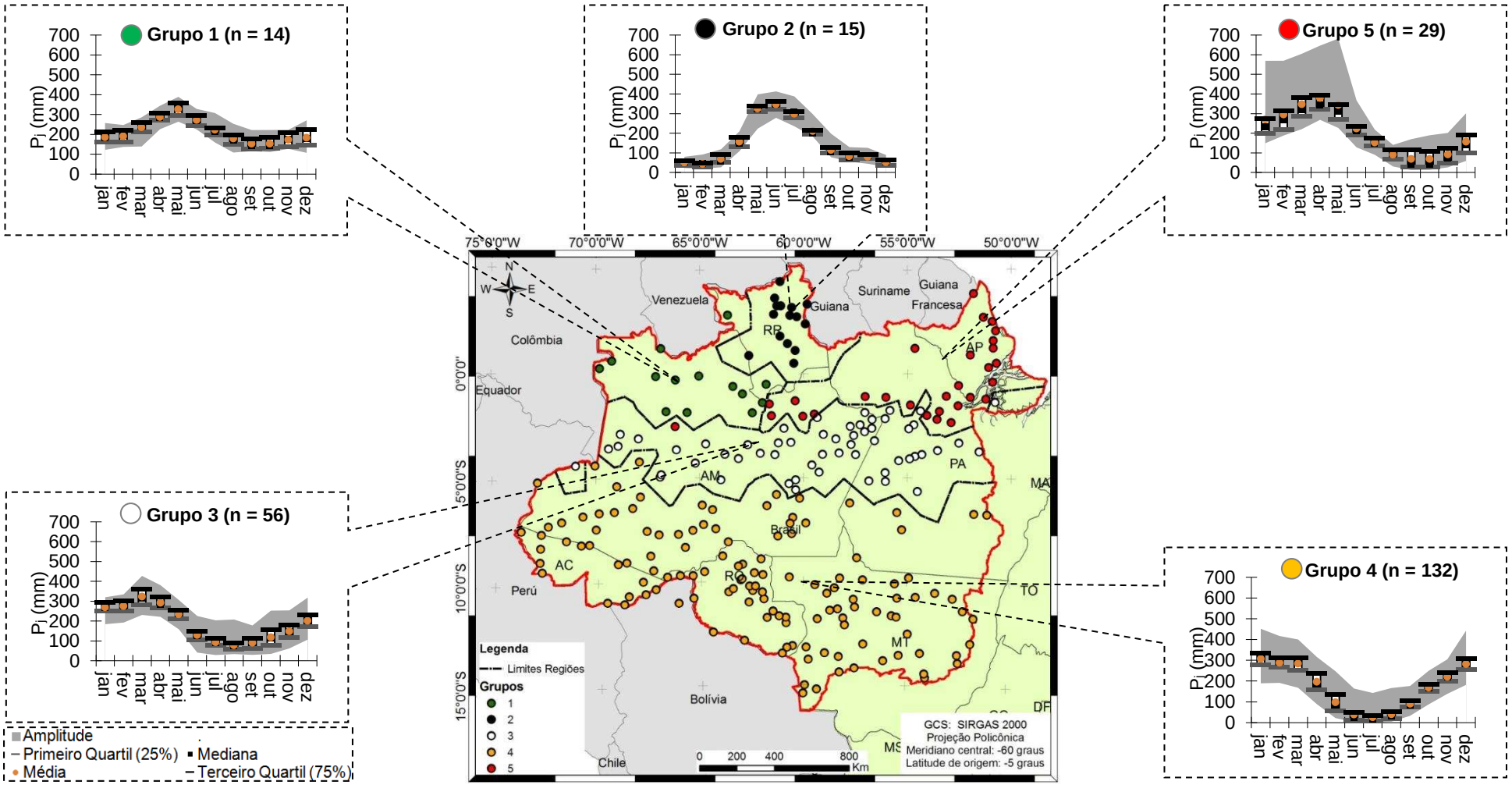


Figura 27 - Agrupamento das estações pluviométricas em cinco grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais.

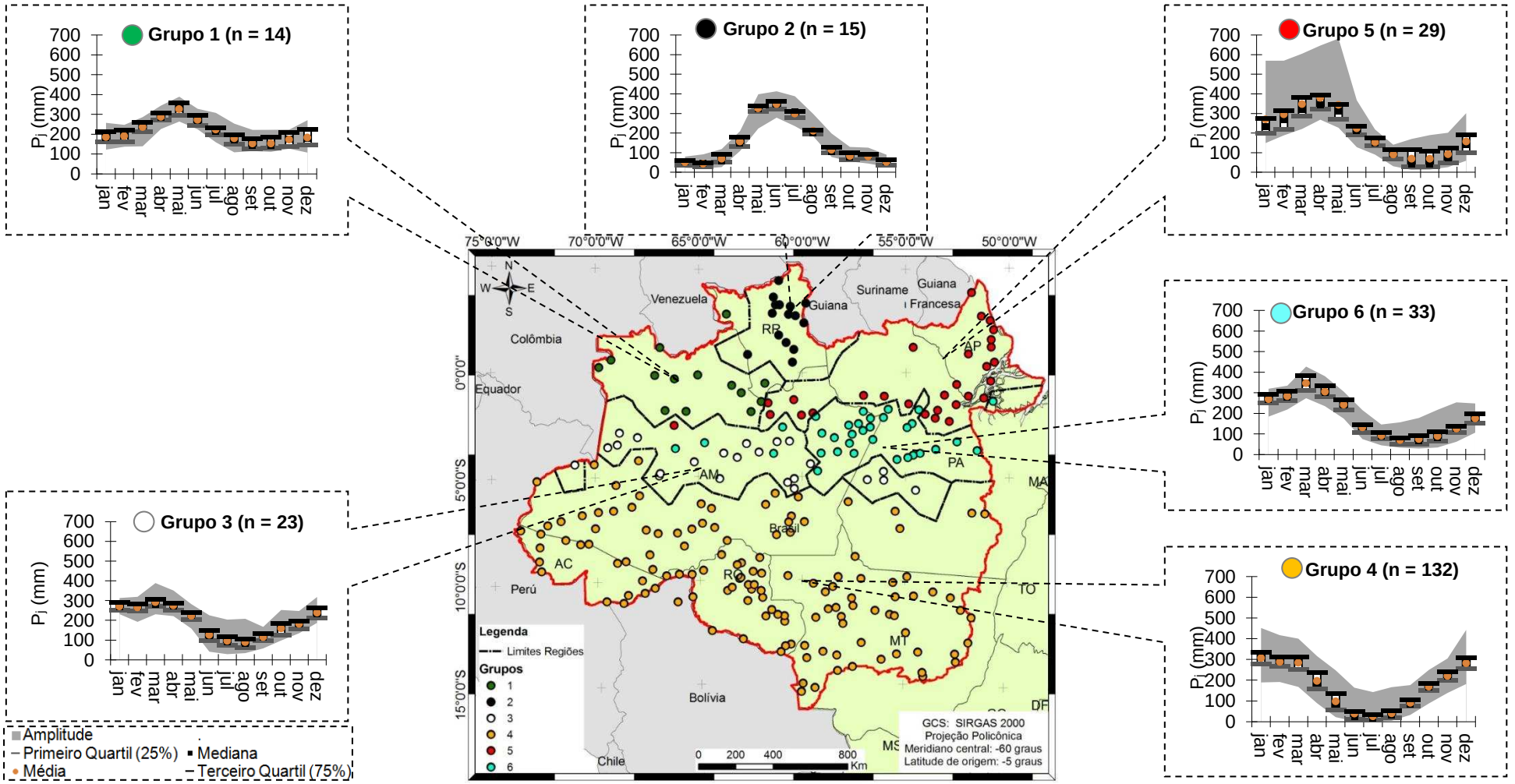


Figura 28 - Agrupamento das estações pluviométricas em seis grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a correlação de Pearson (1 – r) considerando as precipitações mensais.

APÊNDICE D

Agrupamentos considerando os critérios menos permissivos por meio do método aprimorado com o uso métod Ward, da entropia indexada (Hi) e do mês de ocorrência da precipitação mínima (m)

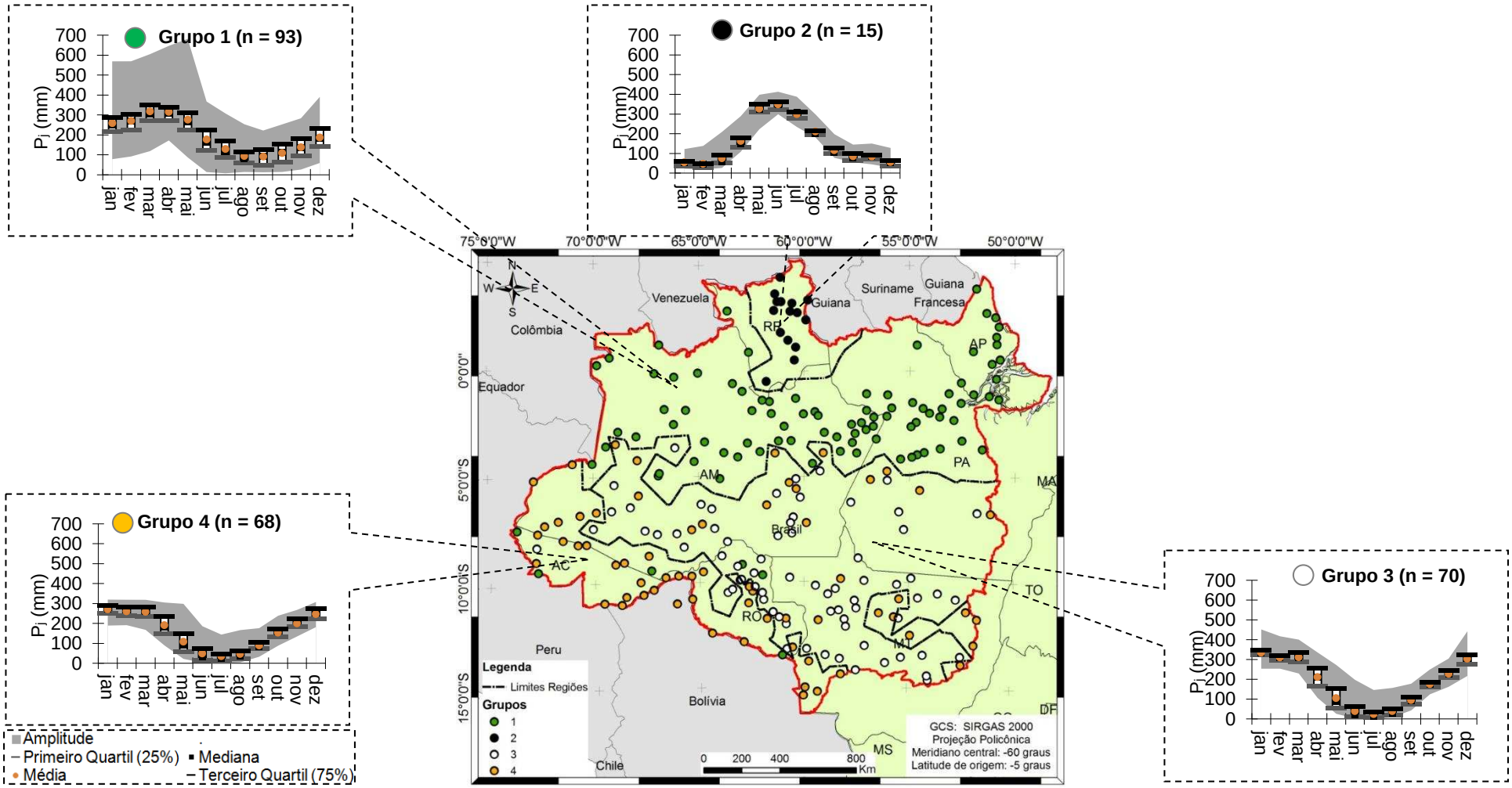


Figura 29 - Agrupamento das estações pluviométricas em quatro grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis.

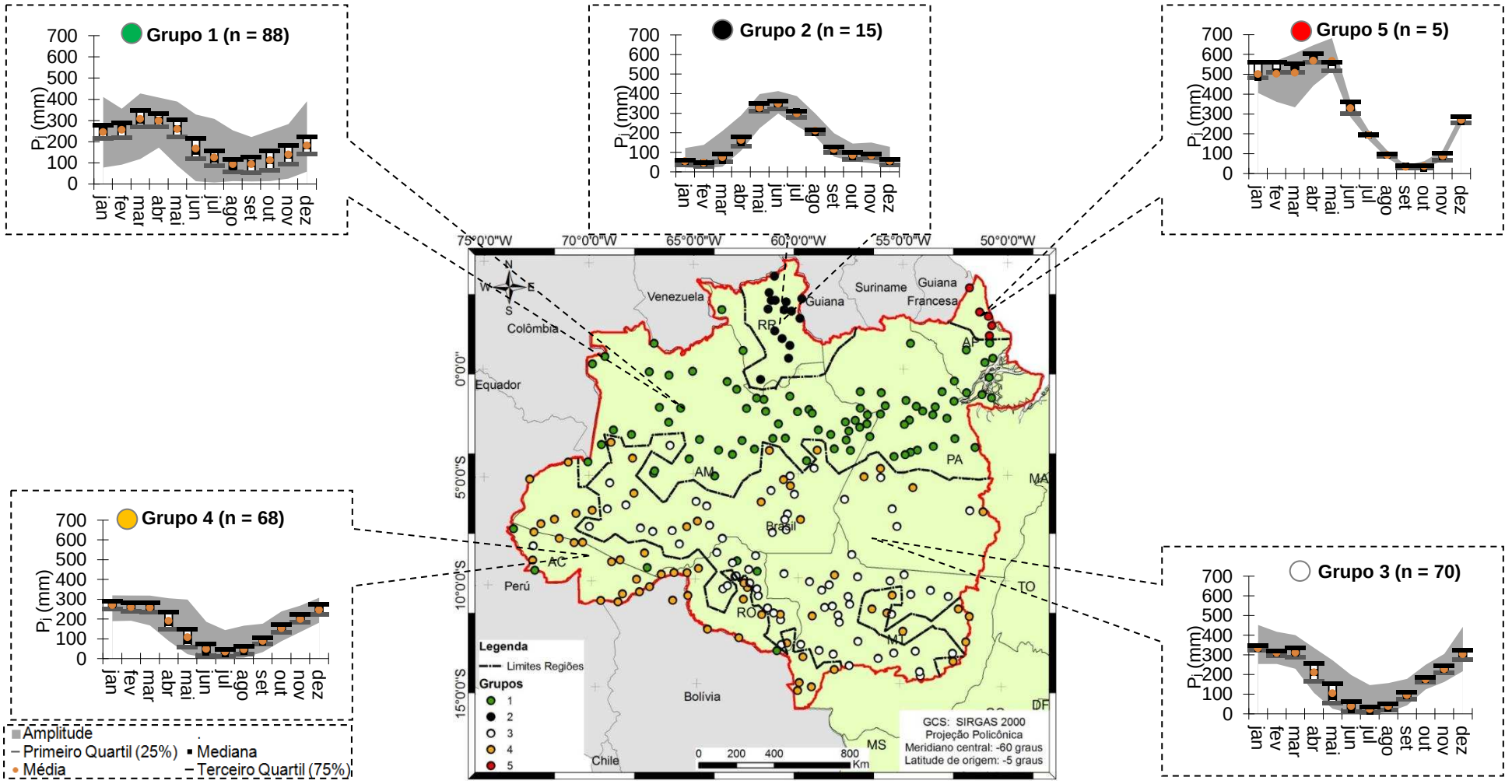


Figura 30 - Agrupamento das estações pluviométricas em cinco grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis.

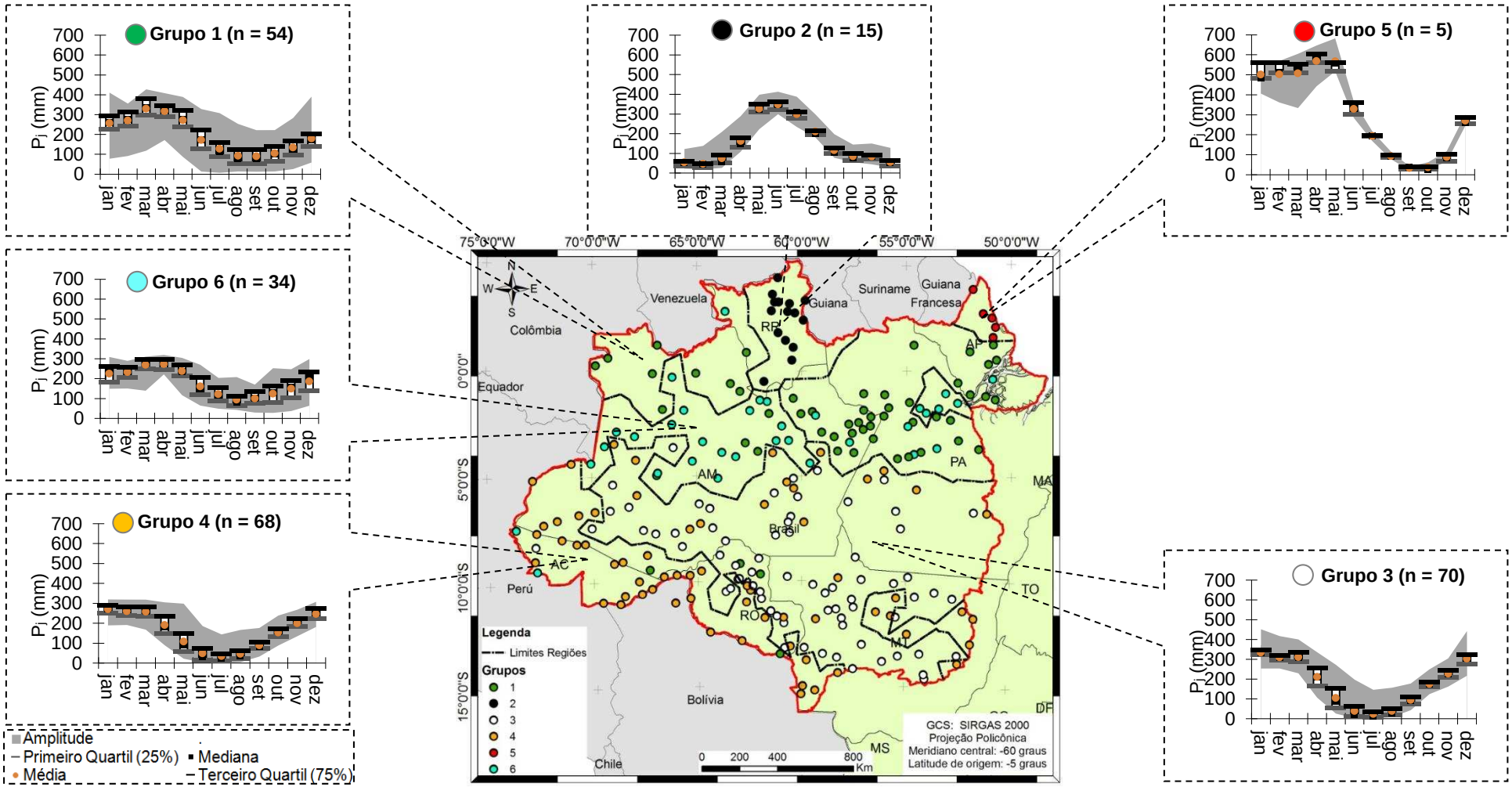


Figura 31 - Agrupamento das estações pluviométricas em seis grupos pelo método Ward utilizando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância euclidiana tomando a entropia indexada (Hi) e o mês de ocorrência da precipitação mínima (m), padronizados, como variáveis.

APÊNDICE E

Estações meteorológicas do INMET utilizadas com as respectivas ET_0 calculadas pelo método de Penman-Mounteith, e estimadas para as estações pluviométricas por krigagem ordinária

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
1	INMET	Altamira	74	-52,21	-3,21	102	89	101	94	100	100	115	131	131	131	122	109	1325
2	INMET	Araguaiana	229	-48,20	-7,20	97	97	93	101	111	120	130	142	129	107	98	91	1314
3	INMET	Barcelos	40	-62,91	-0,96	107	109	110	110	107	99	105	109	112	111	107	104	1289
4	INMET	Belem	10	-48,43	-1,43	105	101	100	102	113	124	130	142	141	141	130	116	1446
5	INMET	Belterra	176	-54,95	-2,63	105	99	99	97	96	101	109	125	132	131	123	113	1328
6	INMET	Benjamin Constant	65	-70,03	-4,38	92	97	98	98	91	90	96	105	109	107	102	94	1179
7	INMET	Boa Vista	90	-60,65	2,81	142	151	155	128	109	88	96	113	139	146	142	136	1546
8	INMET	Breves	15	-50,48	-1,68	98	94	94	94	104	111	122	133	132	132	122	110	1344
9	INMET	Cameta	24	-49,50	-2,25	115	108	111	110	115	123	130	143	151	151	141	127	1525
10	INMET	Caracarai	94	-61,13	1,83	122	126	126	109	93	91	98	114	131	134	134	119	1397
11	INMET	Coari	46	-63,13	-4,08	99	102	102	102	99	104	112	123	124	118	108	100	1293
12	INMET	Codajas	48	-62,08	-3,83	103	102	103	100	98	106	116	124	125	121	113	102	1312
13	INMET	Conceicao do Araguaia	157	-49,26	-8,26	100	101	104	110	121	135	144	146	132	116	106	97	1413
14	INMET	Cruzeiro do Sul	170	-72,66	-7,63	88	87	89	92	92	88	102	107	108	102	95	87	1137
15	INMET	Eirunepe	104	-69,86	-6,66	86	87	87	91	87	89	100	102	101	99	92	87	1111
16	INMET	Fonte Boa	56	-66,16	-2,53	102	102	100	96	89	89	94	108	111	114	106	98	1209
17	INMET	Iauarete	120	-69,20	0,61	97	96	97	92	86	83	85	98	104	104	98	94	1136
18	INMET	Itacoatiara	40	-58,43	-3,13	93	95	92	95	95	101	113	124	129	124	111	103	1275
19	INMET	Itaituba	45	-56,00	-4,28	101	99	100	104	102	107	118	128	130	121	114	101	1324
20	INMET	Labrea	61	-64,83	-7,25	90	91	92	95	94	104	113	116	116	109	100	90	1209
21	INMET	Macapa	14	-51,11	-0,05	111	102	99	99	103	109	119	141	164	172	161	135	1513
22	INMET	Manaus	67	-59,95	-3,11	98	97	97	98	101	112	122	136	140	131	117	104	1353
23	INMET	Manicore	50	-61,30	-5,81	93	93	94	98	94	104	114	117	113	109	103	93	1225
24	INMET	Maraba	95	-49,13	-5,36	107	106	109	116	122	129	137	144	132	119	107	101	1430
25	INMET	Monte Alegre	146	-54,08	-2,00	134	125	122	118	120	128	141	167	183	186	171	155	1750

Id	Codigo	Nome	Alt.	Long	Lat	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
			(m)	(graus)	(graus)	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
26	INMET	Obidos	37	-55,51	-1,91	108	103	102	103	102	111	120	136	146	143	130	117	1422
27	INMET	Palmas	280	-48,30	-10,19	110	111	112	122	130	146	161	187	178	136	120	110	1622
28	INMET	Parintins	29	-56,73	-2,63	104	101	103	102	102	110	122	141	150	147	133	120	1437
29	INMET	Pedro Afonso	187	-48,18	-8,96	103	108	111	118	122	127	134	148	142	123	112	102	1450
30	INMET	Peixe	242	-48,35	-12,01	110	112	115	125	131	136	142	166	157	136	117	104	1550
31	INMET	Porto de Moz	16	-52,23	-1,73	100	100	100	101	103	107	117	134	140	134	117	106	1357
32	INMET	Porto Nacional	239	-48,41	-10,71	106	105	110	121	131	132	141	155	149	125	115	104	1495
33	INMET	Rio Branco	160	-67,80	-9,96	92	92	96	100	97	97	108	113	115	114	104	93	1220
34	INMET	S. G. da Cachoeira	90	-67,00	-0,11	106	108	108	102	91	88	93	105	116	116	108	104	1244
35	INMET	Sao Felix do Xingu	206	-51,96	-6,63	85	85	90	94	100	109	117	114	111	104	97	85	1192
36	INMET	Soure	10	-48,41	-0,73	113	101	96	97	109	124	133	151	165	169	160	143	1562
37	INMET	Taguatinga	604	-46,41	-12,40	102	109	110	121	120	124	133	147	148	119	104	97	1433
38	INMET	Tarauaca	190	-70,76	-8,16	91	92	93	98	93	94	103	108	109	108	98	90	1178
39	INMET	Tefe	47	-64,70	-3,83	103	104	103	101	93	96	106	118	121	119	110	101	1277
40	INMET	Tracuateua	36	-46,90	-1,06	107	97	93	90	95	100	109	128	142	148	144	128	1380
41	INMET	Tucurui	40	-49,66	-3,76	105	104	105	107	113	124	128	135	130	120	111	103	1385
42	INMET	Aragarcas	345	-52,23	-15,90	102	108	118	124	116	109	111	122	120	122	109	98	1361
43	INMET	Caceres	118	-57,68	-16,05	105	107	110	114	106	103	111	119	114	121	118	106	1334
44	INMET	Canarana	430	-52,27	-13,47	105	109	112	123	121	120	125	141	129	116	109	99	1409
45	INMET	Diamantino	286	-56,45	-14,40	103	109	113	115	112	109	121	135	130	126	113	100	1387
46	INMET	Gleba Celeste	415	-56,50	-12,20	96	100	105	116	119	121	124	133	122	116	101	95	1349
47	INMET	Matupa	285	-54,91	-10,25	99	96	102	110	116	126	131	133	111	116	106	96	1342
48	INMET	Nova Xavantina	316	-52,35	-14,70	102	108	116	128	120	113	120	140	138	127	109	98	1420
49	INMET	Padre Ricardo Remetter	140	-56,06	-15,78	116	121	124	128	112	109	116	138	143	137	132	121	1498
50	INMET	Posse	826	-46,36	-14,10	107	117	119	127	128	130	139	159	156	134	106	99	1521

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
51	INMET	Poxoreo	450	-54,38	-15,83	95	104	109	115	106	98	102	110	107	111	106	96	1260
52	INMET	Rondonopolis	284	-54,56	-16,45	63	66	68	64	60	58	62	69	71	69	66	63	779
53	INMET	São José do Rio Claro	350	-56,71	-13,43	93	100	106	114	108	106	111	120	112	114	105	93	1283
1	51002	Navio	-	-50,9247	-0,3992	112	107	106	103	105	112	122	139	148	151	142	126	1474
2	52000	Sao Francisco	-	-52,5692	-0,5678	112	108	108	104	105	111	121	138	147	148	139	124	1466
3	61000	Santa Maria do Boiaçu	149	-61,7864	-0,5053	109	110	111	105	99	97	105	118	128	126	119	110	1338
4	62000	Barcelos	186	-62,9286	-0,9678	107	108	109	103	97	96	104	116	124	123	116	107	1311
5	63000	Cumaru	181	-63,3839	-0,6019	108	109	110	104	97	95	102	115	123	123	116	108	1309
6	65001	Tapuruquara	158	-65,0158	-0,1028	108	109	110	103	95	92	98	111	120	121	114	106	1286
7	66000	Livramento	148	-66,1475	-0,2908	106	108	108	102	94	90	96	109	117	118	111	104	1263
8	67000	São Gabriel da Cachoeira	140	-67,0875	-0,1331	105	107	107	101	93	89	95	107	115	116	110	103	1249
9	150003	Antônio Lemos	-	-50,8089	-1,3608	110	104	103	102	107	114	124	140	146	147	138	123	1458
10	151000	Jarilandia	-	-51,9961	-1,1228	111	106	106	104	106	113	123	139	147	147	137	123	1462
11	151002	Areias	-	-51,2606	-1,2133	111	105	104	102	106	115	125	141	147	147	138	123	1464
12	152005	Almeirim	-	-52,5808	-1,5281	110	105	106	104	106	112	122	138	144	146	135	121	1451
13	152006	Fazenda Bela Vista	-	-53,1528	-1,0744	111	107	108	105	106	110	120	137	145	145	135	121	1452
14	153000	Prainha	-	-53,4808	-1,8036	110	105	106	103	105	111	121	137	143	144	133	120	1439
15	154000	Arapari	-	-54,3811	-1,7761	109	105	106	103	104	109	119	135	143	141	130	118	1421
16	154001	Boca do Inferno	-	-54,8722	-1,5031	110	107	108	104	104	108	118	135	143	142	132	120	1431
17	155000	Oriximina	132	-55,8614	-1,7597	109	106	107	104	102	106	117	133	142	140	130	117	1414
18	156000	Vista Alegre - CONJ.2	124	-56,0533	-1,1303	111	109	110	105	103	106	116	132	141	141	132	119	1426
19	157000	Cach da Porteira - CONJ 1	136	-57,0469	-1,0875	111	110	111	106	102	105	115	131	140	138	129	118	1416
20	157002	Portugues	154	-57,0506	-1,8683	109	107	107	104	102	106	116	131	139	138	128	116	1402
21	159000	Balbina P-8 (UHE Balbina)	216	-59,4833	-1,9381	106	106	106	103	101	103	112	124	131	129	120	110	1350
22	160000	Posto Abonari - Funai	130	-60,3997	-1,2989	108	108	109	104	100	100	109	122	130	128	120	110	1348

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
23	161002	Moura	163	-61,6347	-1,4567	106	107	108	103	99	99	107	120	127	125	117	108	1326
24	162000	Carvoeiro	188	-61,9783	-1,3944	106	107	108	103	98	98	107	119	126	124	116	108	1321
25	162002	Umanapana	143	-62,4608	-1,8800	105	106	106	102	97	99	107	118	124	122	114	105	1305
26	165000	Maraç	130	-65,5906	-1,8611	102	103	103	100	94	94	100	111	117	116	108	101	1249
27	166000	Acanaui	137	-66,6000	-1,8211	101	103	102	99	93	92	98	109	115	114	107	100	1232
28	252001	Itapeua do Para	-	-52,9192	-2,3361	106	101	102	102	106	112	122	137	143	140	129	116	1418
29	253000	Santa Cruz	-	-53,5992	-2,1811	107	103	103	103	105	110	121	137	142	141	130	117	1418
30	254000	Santarem	-	-54,7025	-2,4425	106	102	103	102	103	110	120	135	141	137	127	114	1401
31	254002	Monte Alegre	-	-54,0764	-2,0022	109	104	105	103	104	110	121	137	143	141	131	118	1425
32	254003	Belterra	-	-54,9439	-2,6419	105	102	103	102	103	110	120	135	140	134	124	112	1391
33	256000	Parintins	158	-56,7267	-2,6219	106	104	104	103	101	107	118	131	137	133	123	112	1380
34	256001	Juruti	160	-56,0875	-2,1522	108	105	105	103	102	107	117	133	140	138	128	116	1402
35	256002	Nhamunda	153	-56,7106	-2,1897	108	105	106	103	102	106	117	132	139	137	127	115	1396
36	257000	Urucara	117	-57,7581	-2,5378	107	105	105	103	101	107	117	131	138	134	124	113	1385
37	257001	Barreirinha	149	-57,0644	-2,7922	105	103	104	102	101	107	118	131	137	132	122	111	1373
38	257002	Boa Vista do Ramos	131	-57,5900	-2,9703	104	102	102	102	101	107	117	131	136	130	120	109	1361
39	257003	Mocambo	128	-57,2825	-2,4556	107	105	105	103	101	108	118	132	139	135	125	113	1392
40	259000	Cachoeira Morena	170	-59,3353	-2,1144	106	106	106	103	101	103	112	125	131	129	120	110	1349
41	260006	Novo Airão	150	-60,9425	-2,6272	103	104	104	102	98	102	111	123	127	124	115	105	1318
42	260007	Presidente Figueiredo	131	-60,0258	-2,0417	106	106	106	103	100	102	111	123	130	127	118	109	1340
43	261000	Baruri	138	-61,5417	-2,0250	105	106	106	103	98	100	109	120	127	124	115	106	1318
44	266000	Fonte Boa	149	-66,1667	-2,5333	100	101	100	99	93	94	101	111	115	113	106	98	1231
45	268000	Boa Uniço	120	-68,7986	-2,8806	96	97	97	96	91	90	97	107	111	109	101	95	1188
46	351002	Fazenda Cipauba	-	-51,5681	-3,7231	105	101	102	104	108	116	125	137	139	133	122	110	1403
47	352005	Brasil Novo	-	-52,5411	-3,3103	105	101	102	103	107	114	123	137	140	135	124	112	1403

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
48	353000	Uruara	-	-53,5544	-3,6778	104	100	102	103	106	113	123	135	137	132	121	110	1384
49	354000	Sítio São Pedro	-	-54,3150	-3,8722	103	100	101	102	105	112	122	134	135	130	119	108	1372
50	356002	Guariba	153	-56,5861	-3,2281	103	101	101	102	101	108	119	132	135	131	120	109	1363
51	357001	Maués	128	-57,7156	-3,4006	102	100	101	101	101	108	118	129	133	128	118	107	1347
52	357003	Mucajá	124	-57,5042	-3,8967	101	99	100	101	101	108	118	130	132	127	117	106	1341
53	358000	Itacoatiara	160	-58,4431	-3,1375	103	102	102	101	101	106	116	129	133	128	119	108	1349
54	358002	Balsa do Rio Urubú	155	-59,0433	-2,9131	105	104	104	102	99	105	114	126	131	129	119	109	1348
55	358003	Osório Fonseca	154	-58,2861	-3,8167	101	100	100	101	101	108	117	129	131	126	116	106	1337
56	359001	Nova Olinda do Norte	24	-59,0897	-3,8847	101	100	100	101	99	107	116	127	130	125	115	105	1327
57	360001	Manacapuru	105	-60,6094	-3,3083	102	102	101	101	98	104	113	124	127	123	114	104	1313
58	361000	Beruri	126	-61,3747	-3,8978	99	100	100	100	98	103	112	122	125	119	110	101	1291
59	361001	Caapiranga	158	-61,2133	-3,3297	102	102	101	101	97	103	112	122	126	122	113	104	1306
60	362001	Codajás	167	-62,0833	-3,8333	99	100	100	100	97	102	111	121	123	118	110	101	1281
61	362002	Badajós	130	-62,6786	-3,4183	100	101	101	100	97	101	109	119	122	118	109	100	1276
62	363000	Barro Alto - São Raimundo do Ipixuna	218	-63,7858	-3,8750	98	99	99	99	95	99	108	116	119	116	107	99	1255
63	364000	Tefé - Missies	176	-64,7000	-3,3667	99	100	100	99	94	97	105	114	117	114	105	98	1242
64	366000	Forte das Graças	159	-66,1031	-3,6414	98	99	99	98	93	95	103	112	115	112	104	97	1224
65	367000	Santo Antônio do Içá	154	-67,9356	-3,1017	97	98	98	97	91	92	99	108	112	110	103	96	1201
66	368001	São Paulo de Olivenãa	194	-68,9119	-3,4569	95	97	97	96	91	91	98	107	111	109	101	94	1186
67	369000	Santa Rita do Weil	160	-69,3708	-3,5731	95	96	96	96	91	90	98	106	110	108	101	94	1181
68	454001	Fazenda Marcondes	-	-54,6419	-3,9664	103	100	101	102	104	112	122	133	135	129	119	108	1367
69	455002	Cupari	-	-55,4269	-4,1750	102	99	101	102	104	111	121	132	134	128	118	107	1357
70	455003	Km 1385 BR-163	-	-56,0794	-4,7547	99	98	99	101	102	112	121	132	132	123	113	102	1334
71	455004	Rurupolis Presidente Medici	-	-54,9028	-4,0894	102	100	101	102	104	111	122	133	135	129	118	107	1364
72	459000	Borba	25	-59,5983	-4,3914	99	99	99	100	99	106	116	125	126	121	112	102	1305

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
73	459001	Niterói (Terra Preta II)	-	-59,2494	-4,7497	99	99	99	101	100	107	116	126	126	121	112	101	1306
74	463001	Coari	157	-63,1333	-4,0833	98	99	99	100	96	101	109	118	120	116	107	99	1262
75	465000	Estirão da Santa Cruz	170	-65,2017	-4,2922	97	99	99	99	94	98	106	114	116	114	106	97	1237
76	466000	Carauari	146	-66,9000	-4,9500	95	97	97	97	92	95	103	111	113	111	103	95	1209
77	466001	Gaviço	153	-66,8506	-4,8392	96	97	98	98	92	95	103	111	113	111	104	95	1213
78	467000	Barreira Alta	100	-67,8925	-4,2211	95	96	96	97	92	93	101	109	112	109	101	94	1195
79	470001	Benjamin Constant	153	-70,0333	-4,3833	94	95	95	96	91	90	98	106	110	108	101	93	1177
80	470002	Estirão do Repouso	162	-70,9667	-4,3833	93	94	94	95	90	89	97	105	108	107	99	92	1163
81	554000	Cajueiro	-	-54,5211	-5,6503	100	99	100	103	107	114	123	133	131	123	113	103	1348
82	555000	Km 1326 BR-163	-	-56,0578	-5,1825	99	98	99	101	102	112	122	131	131	122	112	102	1330
83	555002	Km 1130 BR-163	-	-55,4958	-6,6714	98	98	100	104	106	113	122	130	127	120	110	99	1327
84	556000	Jatoba	-	-56,8556	-5,1542	99	98	99	101	102	111	120	130	130	121	112	101	1325
85	560000	Novo Aripuanã	33	-60,3831	-5,1211	98	98	99	101	99	106	115	124	124	118	109	99	1291
86	560001	Recreio (Pedreiras)	-	-60,7006	-5,2964	98	98	99	100	99	107	115	123	123	118	109	99	1288
87	560002	Monte Alegre	-	-60,3736	-5,5892	97	98	99	101	100	107	116	124	123	118	109	98	1288
88	561000	Manicoré	50	-61,3000	-5,8167	97	98	98	100	99	107	116	123	121	116	107	97	1279
89	563000	Seringal Moreira	150	-63,9847	-5,1092	97	98	99	99	96	101	110	117	117	114	106	97	1251
90	567001	Xibaua	150	-67,8569	-5,8936	94	95	96	97	92	94	103	110	112	109	101	93	1195
91	568001	Colocação Caxias	105	-68,9983	-5,3808	94	95	95	96	91	92	100	108	110	109	101	93	1184
92	572000	Palmeiras do Javari	143	-72,8136	-5,1375	92	93	93	95	90	88	97	104	107	106	98	91	1155
93	651001	Boa Esperanãa (Faz.Ometo)	-	-51,7828	-6,7192	102	101	102	107	113	121	130	139	135	123	112	102	1386
94	651002	Projeto Tucuma	-	-51,1547	-6,7514	102	101	103	108	113	122	130	140	135	123	113	102	1393
95	655001	Km 1027 da BR-163	-	-55,2614	-7,5067	99	99	101	106	107	115	123	131	127	119	109	99	1335
96	657000	Jacareacanga	-	-57,7756	-6,2358	97	98	99	102	102	111	120	128	125	119	109	99	1308
97	660000	Seringal Jenipapo	60	-60,1878	-6,0003	97	98	99	101	100	107	116	124	123	117	108	98	1289

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
98	660001	Natal (Tigre)	-	-60,5167	-6,9333	97	98	99	102	101	108	117	124	123	116	106	96	1285
99	661001	Nova Esperanãa	-	-61,7667	-6,3606	96	97	98	100	99	107	115	122	120	115	106	96	1272
100	664000	Bacaba	113	-64,8861	-6,3192	95	96	97	99	95	100	109	116	116	112	104	95	1236
101	664001	Canutama	154	-64,3839	-6,5375	95	96	97	99	96	102	111	117	117	112	104	95	1242
102	668000	Santos Dumont	134	-68,2439	-6,4417	93	94	95	97	92	94	103	110	112	109	101	92	1191
103	669000	Eirunepé	135	-69,8667	-6,6667	92	93	94	96	92	92	102	108	110	108	99	91	1177
104	669001	Soledade	170	-69,1333	-6,6167	92	93	94	96	92	93	103	109	111	108	100	92	1184
105	670000	Foz do Gregório	147	-70,6500	-6,8000	91	92	93	96	92	91	101	107	109	107	99	91	1169
106	759000	Vila do Apui	147	-59,8922	-7,2008	97	98	99	102	102	111	120	127	123	116	106	96	1298
107	760000	Prainha Velha	107	-60,6436	-7,2050	96	97	99	102	101	109	118	124	121	115	106	96	1284
108	760001	Boca do Guariba	60	-60,5783	-7,7053	96	97	99	103	102	109	118	125	121	115	105	96	1286
109	761002	Fazenda Água Azul	-	-61,2442	-7,8228	97	98	100	104	101	108	117	123	120	115	106	96	1286
110	764001	Lábrea	155	-64,8333	-7,2500	94	96	97	99	96	101	110	116	115	111	103	94	1231
111	764003	Cristo	148	-64,2433	-7,4650	95	96	97	100	97	102	111	117	116	112	103	94	1239
112	765000	Cachoeira	178	-66,0514	-7,7025	93	95	96	99	95	99	108	114	114	110	102	93	1215
113	765001	São Bento	107	-65,3500	-7,5189	94	95	96	99	96	100	109	115	115	111	102	93	1225
114	766001	Seringal Fortaleza	167	-66,9847	-7,7172	93	94	95	98	94	98	107	113	113	110	101	92	1207
115	767002	Fazenda Borangaba	154	-67,5592	-7,5500	92	94	95	97	94	96	106	112	113	109	101	92	1200
116	770000	Envira	152	-70,0225	-7,4281	91	92	93	96	92	93	103	109	110	107	99	91	1177
117	771000	Ipixuna	164	-71,6842	-7,0508	91	92	93	96	91	91	101	106	108	107	98	91	1165
118	771001	Fazenda Paranacre	135	-71,4822	-7,9511	91	92	93	96	92	92	102	108	109	107	98	90	1170
119	772000	Cruzeiro do Sul	149	-72,6811	-7,6111	90	91	92	95	91	90	101	106	108	106	98	90	1159
120	772002	Seringal Boa Fé	148	-72,3336	-7,2358	91	91	93	95	91	90	100	106	108	106	98	90	1160
121	773000	Serra do Moa	149	-73,6522	-7,4356	90	91	92	95	91	90	100	106	107	106	98	90	1155
122	857000	Santa Rosa	212	-57,4164	-8,8703	98	99	101	107	107	113	121	128	122	116	106	96	1316

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
123	862000	Tabajara	96	-62,0539	-8,9333	96	98	100	103	101	107	116	122	119	114	105	95	1276
124	863000	Porto Velho	95	-63,9167	-8,7667	95	96	98	101	99	103	112	118	116	113	104	94	1249
125	863005	Sítio Vista Alegre (Sta.Maria)	-	-63,6475	-8,0978	95	96	98	101	98	104	112	118	116	113	104	94	1249
126	865000	Fazenda Sheffer	179	-65,7194	-8,3344	93	95	96	99	97	99	109	114	114	111	102	93	1223
127	867001	Boca do Acre	160	-67,4003	-8,7356	92	94	95	99	94	97	107	112	113	110	101	92	1205
128	870000	Tarauacá (Seabra)	155	-70,7667	-8,1667	91	92	93	96	93	92	103	108	109	107	99	91	1175
129	870002	Feijó	153	-70,3564	-8,1636	91	92	93	97	93	93	103	108	110	108	99	91	1178
130	872000	Taumaturgo	139	-72,7850	-8,9353	91	92	94	97	93	91	102	107	109	108	100	91	1176
131	872001	Porto Walter	166	-72,7344	-8,2675	91	91	93	96	92	91	102	107	109	107	99	90	1168
132	954001	Cachimbo	-	-54,8858	-9,8172	100	101	104	112	113	118	126	134	126	119	108	97	1357
133	960001	Concisa	-	-60,6906	-9,8000	97	99	101	106	104	110	119	125	120	116	106	96	1299
134	961003	Fábio (Boliche)	-	-61,9789	-9,6814	96	98	100	105	105	107	115	122	118	115	105	96	1282
135	962000	Mineração Oriente Novo	-	-62,3939	-9,5864	96	98	100	104	104	106	115	121	118	114	105	95	1276
136	962001	Mineração Jacundá	86	-62,9531	-9,1792	95	97	99	103	101	105	114	120	117	114	104	95	1265
137	963000	Ariquemes	168	-63,0569	-9,9317	96	97	100	104	104	105	114	120	117	114	105	95	1271
138	963001	Santo Antônio BR-364	96	-63,1619	-9,2606	95	97	99	103	103	105	114	120	117	113	104	95	1265
139	963004	Fazenda Rio Branco	137	-62,9878	-9,8872	96	97	100	104	104	105	114	120	117	114	105	95	1272
140	964001	Palmeiral	-	-64,8122	-9,5164	94	96	98	102	101	101	111	117	115	112	103	94	1244
141	965001	Abunã	-	-65,3647	-9,7031	94	95	97	101	100	100	110	116	115	112	103	94	1238
142	966000	Nova California	153	-66,6117	-9,7556	93	95	97	100	98	98	108	114	114	111	102	93	1224
143	966001	Pedreiras	-	-65,9931	-9,6903	94	95	97	101	99	99	109	115	114	111	103	93	1230
144	967000	Rio Branco	169	-67,8000	-9,9758	93	94	96	100	97	96	107	112	113	110	102	93	1213
145	967004	Restaurante Porteira do Amazonas	164	-67,2833	-9,4333	93	94	96	99	96	97	107	113	113	110	102	93	1212
146	968001	Seringal da Caridade	203	-68,5772	-9,0439	92	93	95	98	94	95	106	111	111	109	101	92	1197
147	969001	Seringal Guarany	127	-68,9933	-9,1103	92	93	95	98	94	95	105	110	111	109	101	92	1195

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
148	972000	Foz do Breu	192	-72,7025	-9,4017	92	92	94	98	93	92	103	108	109	108	100	92	1179
149	1052000	Vila São José do Xingu	-	-52,7378	-10,8044	101	104	107	116	118	123	130	141	132	121	109	98	1398
150	1053001	Fazenda Santa Emília	-	-53,6089	-10,5392	101	103	106	114	116	121	128	138	130	120	108	98	1384
151	1054000	Agropecuária Cajabi	-	-54,5461	-10,7461	100	102	106	114	115	118	126	135	127	119	108	98	1367
152	1055001	Indeco	-	-55,5700	-10,1125	99	101	104	111	112	116	124	131	124	118	107	97	1345
153	1055002	Colider	-	-55,4486	-10,7986	99	102	105	113	113	116	123	131	125	118	107	97	1352
154	1057000	Fazenda Agrotep	-	-57,5811	-10,8814	99	101	105	111	109	113	120	127	120	117	108	97	1327
155	1057001	Trivelato	341	-57,1319	-9,9414	98	100	103	110	109	114	122	129	122	117	107	97	1327
156	1058002	Núcleo Ariel	-	-58,2469	-9,8561	98	100	103	108	107	114	121	128	121	116	107	96	1319
157	1058003	Juruena	-	-58,4981	-10,3322	97	100	103	109	107	112	120	128	121	116	107	97	1316
158	1058005	Vale do Natal	-	-58,8675	-10,5881	97	100	103	109	106	113	120	127	121	116	107	97	1316
159	1059000	Humboldt	181	-59,4508	-10,1747	97	99	103	108	106	112	120	127	121	116	107	97	1312
160	1061001	Jiparaná	156	-61,9306	-10,8494	97	99	102	106	105	107	115	122	118	115	106	96	1288
161	1061003	Rondominas (Barrocas)	-	-62,0014	-10,5169	96	98	101	106	105	107	115	122	118	115	106	96	1286
162	1062001	Jaru	146	-62,4656	-10,4458	96	98	101	105	104	106	114	121	118	115	106	96	1280
163	1062002	Seringal 70	217	-62,6272	-10,2364	96	98	100	105	104	105	114	121	118	115	105	96	1276
164	1062003	Mirante da Serra	-	-62,6561	-11,0036	96	98	101	106	104	105	114	121	118	115	106	96	1283
165	1062004	Theobroma	-	-62,3458	-10,2364	96	98	100	105	104	106	115	121	118	115	105	96	1279
166	1063000	Escola Caramurú	151	-63,6461	-10,5050	95	97	100	104	104	104	113	119	117	114	105	95	1267
167	1063001	Mineração Ponte Massangana	-	-63,4167	-10,3500	96	97	100	104	104	104	113	119	117	114	105	95	1268
168	1065002	Guajará-Mirim	-	-65,3478	-10,7925	95	96	99	103	102	100	110	116	115	113	104	95	1248
169	1067002	Plácido de Castro	-	-67,1828	-10,3369	93	95	97	101	98	97	108	113	113	111	103	93	1223
170	1067003	Vila Capixaba	-	-67,6767	-10,5758	93	95	97	101	96	97	107	113	113	111	103	93	1220
171	1068000	Xapuri	147	-68,5067	-10,6497	93	94	97	100	95	96	106	112	112	111	103	93	1212
172	1069000	Assis Brasil	116	-69,5667	-10,9333	93	94	96	100	94	94	105	111	112	111	102	93	1207

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
173	1152000	Suia Liquilôndia	-	-51,6964	-11,7219	102	105	109	119	118	124	131	143	134	122	109	99	1414
174	1152001	Espigão	-	-52,2347	-11,3900	102	105	109	117	118	123	130	141	132	122	109	99	1406
175	1155000	Cachoeirão	-	-55,7017	-11,6531	100	103	107	115	113	114	121	129	122	119	109	98	1350
176	1156000	Fazenda Itauba	-	-56,4244	-11,4714	98	101	105	112	112	114	121	129	123	117	107	97	1336
177	1156001	Sinop (Fazenda Sempre Verde)	-	-55,4639	-11,7106	100	103	107	115	114	114	121	130	122	120	109	98	1354
178	1157001	Juara	-	-57,5058	-11,2525	98	101	105	111	109	112	119	127	120	117	107	97	1322
179	1158001	Fontanilhas	-	-58,3369	-11,3408	98	100	104	110	108	112	120	127	119	116	107	97	1318
180	1158002	Juína	-	-58,7178	-11,4086	98	100	104	110	108	112	120	127	120	116	107	97	1319
181	1158003	Fazenda Tombador	-	-58,0725	-11,7772	98	100	105	111	109	112	119	126	119	116	107	97	1318
182	1159000	Boteco dos Mineiros	-	-59,3250	-11,8186	99	102	105	111	107	110	118	125	118	118	108	98	1318
183	1160000	Marco Rondon	-	-60,8550	-12,0153	96	99	102	107	105	108	116	124	120	115	106	96	1295
184	1160002	Fazenda Flor do Campo	185	-60,8678	-11,7489	96	99	102	107	106	108	116	124	120	115	106	96	1296
185	1161000	Vista Alegre	-	-61,4839	-11,4408	96	98	102	107	105	107	116	123	119	115	106	96	1289
186	1161001	Pimenta Bueno	-	-61,1922	-11,6836	96	98	102	107	105	108	116	124	119	115	106	96	1293
187	1161002	Rolim de Moura	-	-61,7764	-11,7497	97	100	103	108	105	106	115	122	119	116	108	97	1296
188	1166000	Riberalta 045	135	-66,0833	-11,0167	94	96	98	102	101	99	109	115	115	113	104	94	1241
189	1168001	Brasiléia	159	-68,7350	-11,0233	93	95	97	101	97	96	106	112	113	111	103	94	1216
190	1251001	Divínea	-	-51,8264	-12,9397	103	107	111	121	117	119	126	138	130	123	109	99	1403
191	1255002	Núcleo Colonial Rio Ferro	-	-54,9106	-12,5161	100	103	107	115	115	114	120	130	123	118	108	98	1351
192	1257000	Brasnorte	-	-57,9992	-12,1169	98	101	105	111	109	111	118	126	118	116	107	97	1315
193	1262000	Pedras Negras	152	-62,8992	-12,8514	98	100	104	108	104	105	114	121	118	117	109	98	1295
194	1264000	Principe da Beira	-	-64,4225	-12,4269	96	99	102	106	102	102	111	119	117	115	107	97	1273
195	1352000	Fazenda Sete de Setembro	-	-52,4119	-13,8806	100	105	110	118	114	115	121	135	129	119	107	98	1371
196	1352001	Garapu	-	-52,4544	-13,4956	100	104	109	117	115	116	122	136	130	119	106	96	1370
197	1354000	Fazenda Agrochapada	-	-54,2806	-13,4467	99	103	108	115	112	113	119	131	124	118	107	97	1347

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
198	1355001	Porto Roncador	-	-55,3317	-13,5564	99	103	108	114	110	110	116	126	121	117	108	97	1329
199	1356002	Nova Mutum	-	-56,0842	-13,8206	99	102	107	113	108	107	113	124	119	117	107	97	1314
200	1357000	Nova Maringá	-	-57,0906	-13,0275	98	102	106	112	108	109	116	125	118	116	107	97	1314
201	1358001	Bacaval	-	-58,2875	-13,6417	97	100	105	109	107	105	111	120	116	115	107	97	1289
202	1358002	Fazenda Tucunaré	-	-58,9750	-13,4667	97	100	104	109	106	107	114	122	117	115	107	97	1295
203	1359000	Padronal	-	-59,8781	-13,1808	97	100	104	108	106	108	116	125	120	115	107	97	1303
204	1359001	Vila Alegre	-	-59,7686	-13,7786	96	100	103	107	106	105	113	121	117	114	107	97	1287
205	1360000	Colorado do Oeste	-	-60,5483	-13,1142	96	99	103	108	106	107	115	124	120	115	107	97	1298
206	1360001	Cerejeira	-	-60,8233	-13,1967	96	99	103	108	106	107	115	124	120	115	107	97	1296
207	1360002	Pimenteiras	-	-61,0464	-13,4797	96	99	103	107	107	106	115	124	120	115	107	97	1296
208	1453000	Passagem da BR-309	-	-53,9986	-14,6119	99	104	109	115	111	108	114	127	123	118	107	97	1332
209	1454000	Paranatinga	-	-54,0489	-14,4186	99	104	109	115	111	109	115	128	123	118	107	97	1335
210	1457003	Deciolôndia	-	-57,5067	-14,1839	97	101	105	110	106	104	110	120	116	115	107	97	1288
211	1458002	Brasfor	-	-58,2342	-14,3853	97	101	105	109	106	102	109	118	115	115	107	97	1280
212	1559000	Pontes e Lacerda 1	240	-59,3536	-15,2156	97	100	104	108	104	99	106	116	114	115	108	98	1269
213	1559000	Pontes e Lacerda 2	240	-59,3536	-15,2156	97	100	104	108	104	99	106	116	114	115	108	98	1269
214	1559006	Mato Grosso 1	200	-59,9492	-15,0075	96	100	104	107	108	102	109	119	116	114	107	98	1281
215	1559006	Mato Grosso 2	200	-59,9492	-15,0075	96	100	104	107	108	102	109	119	116	114	107	98	1281
216	1560000	Fazenda Areiço 1	185	-60,0317	-15,4003	97	100	104	107	108	101	109	119	116	114	108	98	1279
217	1560000	Fazenda Areiço 2	185	-60,0317	-15,4003	97	100	104	107	108	101	109	119	116	114	108	98	1279
218	8050000	Carmo	-	-50,7478	0,5083	113	107	106	102	105	112	121	139	150	153	144	128	1481
219	8051010	Porto Ariri	-	-51,1267	0,3036	113	108	107	103	106	112	121	139	149	153	144	128	1482
220	8052000	Serra do Navio	-	-52,0014	0,9006	114	109	109	104	105	111	120	138	150	152	144	128	1484
221	8060000	Fazenda São José	148	-60,4661	0,5178	115	116	117	109	101	98	106	121	133	134	127	118	1395
222	8062000	Posto Ajuricaba	168	-62,6222	0,8842	113	115	116	107	99	94	101	114	126	129	122	114	1350

Id	Codigo	Nome	Alt. (m)	Long (graus)	Lat (graus)	ET_0 (mm) média para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
223	8069000	Iauaretê	155	-69,1917	0,6022	104	106	106	100	91	87	91	104	110	113	107	102	1220
224	8069003	Pari Cachoeira	127	-69,7844	0,2517	102	104	104	99	90	86	91	103	110	112	106	100	1208
225	8150000	Aporema	-	-50,8964	1,2267	113	108	106	102	107	111	120	138	150	152	144	129	1481
226	8151000	Itaubal do Amapá	-	-50,9025	1,5806	113	108	106	102	107	110	119	137	150	151	144	128	1475
227	8154000	Apalai	-	-54,6561	1,2203	117	114	114	108	104	107	116	134	148	150	142	127	1480
228	8160001	Fazenda Paraná	148	-60,3994	1,1264	116	117	119	110	100	97	105	120	134	135	128	119	1401
229	8160003	Agropecuária Boa Vista	143	-60,7675	1,4608	117	118	121	110	100	96	104	119	133	135	128	119	1399
230	8161001	Caracarai	157	-61,1236	1,8214	117	119	122	111	100	95	102	118	132	134	128	119	1397
231	8166000	Cucuí	160	-66,8522	1,2147	109	112	112	104	94	88	93	106	117	119	113	107	1274
232	8250002	Calcoene	-	-50,9508	2,4956	114	109	107	102	106	108	117	136	150	152	146	130	1477
233	8250003	Amapá	-	-50,7881	2,0547	113	108	106	102	107	109	118	137	150	152	144	129	1475
234	8251001	Cunani	-	-51,3614	2,6983	114	109	108	103	106	108	117	135	150	152	145	129	1474
235	8259000	Fazenda Verdum	175	-59,9183	2,4189	120	122	124	113	101	96	103	120	136	142	136	124	1437
236	8260000	Boa Vista	154	-60,6617	2,8297	121	123	126	113	101	94	102	118	134	141	135	124	1434
237	8260003	Fazenda Castelão	158	-60,3250	2,7619	121	123	125	113	101	95	102	118	134	142	136	124	1435
238	8261000	Fé e Esperanãa	158	-61,4406	2,8708	122	124	127	114	100	93	100	116	132	137	132	123	1420
239	8263000	Missão Surucucu	147	-63,6417	2,8358	117	120	123	110	97	89	95	110	125	129	124	116	1356
240	8351002	Clevelôndia - Oiapoque	-	-51,8311	3,8425	116	111	111	104	106	106	114	133	148	153	146	131	1479
241	8359000	Bom Fim	151	-59,8239	3,3597	122	124	126	113	101	95	102	119	137	143	137	126	1447
242	8360002	Fazenda Passarão	184	-60,5711	3,2078	122	124	127	114	101	94	101	117	134	142	136	125	1437
243	8361000	Fazenda São João	141	-61,3839	3,6608	123	125	128	114	100	92	100	116	134	141	136	125	1432
244	8361001	Boqueirão	174	-61,2881	3,2906	122	125	128	114	100	92	100	116	134	137	132	123	1424
245	8361004	Colônia do Taiano	184	-61,0883	3,2872	122	125	128	114	100	93	100	117	134	138	132	123	1426
246	8461000	Nova Esperanãa/Marco BV-8	85	-61,1317	4,4514	123	126	128	114	100	91	99	116	135	142	136	125	1435

APÊNDICE F

Estações fluviométricas utilizadas com as respectivas vazões específicas médias (q_{mld})

Id	Codigo	Nome	Área (km^2)	Long (graus)	Lat (graus)	Vazões específicas médias (L s^{-1} km^{-2}) para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
1	12550000	Eirunepé - Montante	77300	-69,8811	-6,6844	34,126	38,927	41,732	42,301	35,492	18,110	8,970	5,577	4,884	7,805	17,171	15,850	23,591
2	12700000	Santos Dumont	144000	-68,2461	-6,4403	40,229	49,194	55,699	57,634	47,961	23,428	9,777	5,539	4,554	6,976	16,531	29,047	27,948
3	12840000	Gavião	164000	-66,8506	-4,8392	35,542	42,919	48,153	51,933	50,266	35,997	13,315	6,976	5,692	7,159	14,938	26,078	28,557
4	12880000	Estirão da Santa Cruz	13700	-65,2017	-4,2922	52,566	59,808	63,268	62,200	54,761	37,890	27,220	17,873	14,740	18,494	27,569	39,577	40,107
5	13180000	Manoel Urbano	32800	-69,2681	-8,8842	52,121	57,850	48,138	38,547	16,731	8,819	4,650	2,953	2,796	6,278	20,007	32,927	24,061
6	13300000	Seringal São José	11200	-68,7239	-9,3744	38,893	53,500	45,371	38,697	14,179	5,360	3,278	2,565	3,058	3,607	14,259	27,527	21,406
7	13405000	Seringal Guarany	6110	-68,9933	-9,1103	55,048	62,921	53,541	38,974	13,889	1,475	0,342	0,152	0,137	1,086	12,073	30,587	22,472
8	13410000	Seringal da Caridade	63100	-68,5772	-9,0439	44,974	55,143	49,050	38,111	16,423	6,707	2,898	1,957	1,760	3,810	14,748	28,543	21,790
9	13470000	Brasiléia	7020	-68,7450	-11,0178	33,686	39,736	39,918	30,587	14,552	6,904	4,064	3,388	3,910	6,402	14,775	22,166	17,847
10	13550000	Xapuri	8270	-68,5061	-10,6514	47,147	60,759	55,161	41,333	17,331	10,076	5,642	4,888	5,167	8,541	17,935	32,337	25,875
11	13600002	Rio Branco	23500	-67,8008	-9,9750	27,960	39,121	35,196	27,642	12,625	5,239	3,015	2,230	2,173	3,325	8,774	16,178	15,021
12	13710001	Valparaíso - Montante	105000	-67,3750	-8,6533	35,177	44,801	47,998	39,615	18,405	6,873	3,255	2,016	1,724	2,938	10,605	22,440	19,572
13	13740000	Fazenda Borangaba	23300	-67,5500	-7,5500	57,278	71,019	72,468	68,903	48,229	21,118	12,170	6,303	4,622	7,424	18,558	38,161	36,035
14	13750000	Seringal Fortaleza	154000	-66,9997	-7,7156	39,346	51,377	58,104	53,229	31,538	13,265	6,826	4,378	3,699	4,609	11,717	24,790	25,173
15	14430000	Vila Conceição	6800	-63,9606	0,1300	9,573	8,634	10,496	14,883	27,280	34,827	35,694	32,457	25,911	20,659	16,201	13,882	21,048
16	14440000	Posto Ajuricaba	16900	-62,6219	0,8842	8,209	9,317	8,790	18,711	50,035	64,075	58,570	42,146	29,088	18,382	13,979	10,443	27,808
17	14495000	Fazenda Cajupiranga	36900	-61,0367	3,4381	17,448	18,849	15,840	20,263	41,525	56,142	53,387	43,585	30,321	22,283	19,036	18,015	30,413
18	14515000	Fazenda Passarão	50200	-60,5711	3,2078	15,205	16,419	13,920	17,451	39,986	57,525	56,973	47,097	30,257	21,378	17,751	16,002	28,047
19	14550000	Maloca do Contão	5780	-60,5289	4,1675	11,086	9,335	7,770	12,378	32,107	52,951	58,380	48,605	27,977	22,335	17,435	12,204	26,254
20	14750000	Missão Catrimani	6180	-62,2833	1,7500	8,669	3,131	7,799	15,104	27,505	42,484	41,969	37,634	27,291	18,520	14,964	10,964	22,328
21	14845000	Fazenda São José	5680	-60,4661	0,5178	5,230	7,453	7,970	14,768	50,247	74,418	58,334	39,386	21,350	13,036	8,066	6,001	25,972
22	15560000	Jiparaná	32800	-61,9356	-10,8736	37,803	44,835	48,826	35,521	18,847	11,001	7,576	5,942	5,774	7,087	11,205	20,874	21,523
23	15910000	Santarem Sucunduri	12700	-59,0422	-6,7956	51,214	73,317	84,302	79,664	46,233	18,639	8,537	4,505	3,752	4,554	9,763	24,466	33,496
24	15930000	Acari BR - 230	4990	-59,6833	-7,1014	55,977	65,778	84,993	82,710	51,676	21,045	7,958	3,801	3,935	5,930	15,165	32,352	35,002
25	16700000	Tirios	819	-55,9564	2,2239	9,832	12,837	16,110	29,248	50,150	42,511	34,134	21,068	11,719	7,356	5,008	5,615	20,494

Id	Codigo	Nome	Área (km^2)	Long (graus)	Lat (graus)	Vazões específicas médias (L s^{-1} km^{-2}) para o período base de 1977 a 2006												
						jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Anual
26	18250000	Uruara	2960	-53,5542	-3,6772	10,415	22,460	32,653	34,921	27,925	13,627	7,565	3,465	2,643	2,275	2,819	5,293	13,672
27	18280000	Apalai	7230	-54,6569	1,2208	8,863	12,530	18,829	29,322	42,832	37,616	27,678	18,950	10,626	5,507	3,348	3,782	17,978
28	18500000	Boa Esperança	42400	-51,7736	-6,7453	34,264	41,226	49,085	50,012	28,274	8,976	2,853	0,927	0,835	2,331	6,605	1,525	19,508
29	19100000	Iratapuru	4470	-52,5703	-0,5519	7,856	12,588	17,455	29,001	34,777	28,242	19,628	13,105	7,938	5,301	4,218	4,187	15,240
30	19150000	São Francisco	51500	-52,5692	-0,5678	10,252	16,456	24,386	34,066	43,405	37,553	26,694	17,774	10,461	6,353	4,573	4,757	19,753
31	30080000	Capivara	10600	-51,7064	0,9861	14,959	28,443	49,214	62,224	68,907	48,145	30,423	18,627	8,970	4,751	2,997	4,438	28,773
32	30300000	Serra do Navio	10800	-52,0100	0,9006	22,242	33,116	42,621	53,567	57,602	48,554	36,177	27,424	17,888	12,995	10,512	11,717	31,215
33	30400000	Porto Platon	30400	-51,4389	0,7075	19,446	32,059	45,563	57,891	63,100	50,008	35,583	24,310	13,905	8,345	5,868	7,518	30,406

APÊNDICE G

Áreas relativas aos aspectos topográficos e ambientais calculadas por região hidrologicamente homogêneas identificada pelos métodos Ward e pelo método aprimorado

	Método		Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado
	Região		1		2		3		4		5	
Áreas (Km²)	Declividade	<Media	510908,07	493347,98	110320,91	107408,58	619568,95	1070649,14	1258899,31	449034,09	36471,94	36471,94
		>Media	199748,36	165405,09	108453,71	89835,22	66707,71	466970,07	570901,98	149963,77	13063,50	13063,50
		Area Total (Km²)	710656,43	658753,07	218774,62	197243,80	686276,66	1537619,21	1829801,29	598997,86	49535,44	49535,44
	Altitude (m)	<150	387897,16	424461,59	90039,41	89032,04	583983,16	595780,07	462403,67	92365,32	41430,80	41430,80
		150-300	249353,33	138600,03	84920,92	69433,96	92425,21	516258,38	819201,48	376313,25	8013,96	8013,96
		300-450	69145,64	59409,17	24113,95	20081,15	9740,95	351809,56	452723,04	108489,49	89,41	89,41
		450-600	3974,38	8288,61	8970,45	8288,61	128,63	68493,93	81760,41	13395,10	0,00	0,00
		>600	286,91	19023,86	10730,90	10409,06	0,00	5283,83	13710,23	8426,39	0,00	0,00
		Area Total (Km²)	710657,41	649783,25	218775,63	197244,81	686277,95	1537625,76	1829798,84	598989,56	49534,17	49534,17

	Método		Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado
	Região		6		7	
Áreas (Km²)	Declividade	<Media	299462,45	436151,24	N/D	242667,94
		>Media	77987,66	29121,74	N/D	122522,59
		Area Total (Km²)	377450,11	465272,98	N/D	365190,53
	Altitude (m)	<150	300986,50	440846,75	N/D	182918,40
		150-300	26846,95	13687,33	N/D	158465,17
		300-450	15405,14	8031,71	N/D	23318,12
		450-600	15042,29	1960,61	N/D	487,53
		>600	19161,71	747,17	N/D	0,00
		Area Total (Km²)	377442,58	465273,56	N/D	365189,21

N/D = Não disponível

	Método	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado
	Região	1		2		3		4		5	
Áreas de Vegetação e Uso do Solo (Km²)	Agropecuária	15736,34	4400,55	2442,11	2463,27	6638,92	142065,02	214772,32	74902,79	225,34	225,34
	Campinaranas	6037,86	118919,85	36460,46	23746,93	10133,74	3173,99	4193,34	1021,74	0,00	0,00
	Floresta Estacional Decidual	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5094,59	7087,87	1993,28	0,00	0,00
	Floresta Estacional Semidecidual	0,00	32,37	15373,39	15373,42	0,00	122115,96	190159,85	68043,88	0,00	0,00
	Floresta Ombrófila Densa	195480,27	166742,70	658,79	13251,33	422774,53	323008,22	237405,76	59268,41	14577,91	14577,91
	Floresta Ombrófila Aberta	45356,29	19540,36	10347,34	10034,45	162823,09	508014,71	718662,51	327886,56	6,37	6,37
	Floresta Ombrófila de Montanha Submontanha	323626,63	254947,99	110540,73	89541,15	44360,06	261591,12	233588,32	4813,70	20581,40	20581,40
	Montano	35,79	924,33	595,16	203,59	64,26	2726,11	2661,85	0,00	0,00	0,00
	Pioneiras	36298,68	25667,99	27,89	27,89	3262,54	10635,86	20346,60	10890,51	10017,50	10017,50
	Reflorestamento	2898,53	2527,47	0,00	0,00	0,00	0,00	6,72	6,72	10,53	10,53
	Savanas	27000,17	18124,73	35535,73	35535,73	1451,01	133570,34	173393,24	40587,23	2427,90	2427,90
	Secundária	16522,94	10269,25	1690,84	1690,84	11636,52	5066,92	5288,51	2728,22	354,67	354,67
	Transição	712,46	10577,98	4043,00	4044,39	405,75	6682,49	11552,35	4869,86	0,00	0,00
	Água	40449,38	24924,88	1100,14	1371,76	22536,14	13827,40	10591,62	1919,89	544,68	544,68

	Método	Ward	Aprimorado	Ward	Aprimorado
	Região	6		7	
Áreas de Vegetação e Uso do Solo (Km²)	Agropecuária	546,96	4241,23	N/D	12063,79
	Campinaranas	125639,40	33681,97	N/D	1950,95
	Floresta Estacional Decidual	0,00	0,00	N/D	0,00
	Floresta Estacional Semidecidual	32,37	0,00	N/D	0,00
	Floresta Ombrófila Densa	108552,75	308949,11	N/D	93701,68
	Floresta Ombrófila Aberta	20877,09	49979,98	N/D	42614,81
	Floresta Ombrófila de Montanha Submontanha	99667,95	23358,29	N/D	177560,44
	Montano	519,29	2,35	N/D	20,06
	Pioneiras	703,15	9456,51	N/D	3960,22
	Reflorestamento	0,00	371,06	N/D	0,00
	Savanas	0,00	5551,65	N/D	4010,47
	Secundária	1366,62	4275,18	N/D	12475,06
	Transição	11580,70	2122,30	N/D	0,00
	Água	7336,40	23117,69	N/D	16853,89

N/D = Não disponível