

## 2

### Caracterização climática da região Amazônica

#### 2.1.

#### Caracterização da chuva em climas tropicais e equatoriais

Para uma maior precisão na modelagem da atenuação provocada pela precipitação no sinal radioelétrico, torna-se necessário ter o conhecimento da caracterização da chuva em uma determinada região. Uma primeira etapa desta caracterização é a diferenciação da chuva quanto ao seu tipo. Assim, de uma forma geral, pode-se classificar o tipo de chuva através de dois diferentes processos: chuva do tipo estratiforme e chuva do tipo convectiva. Esta classificação baseia-se principalmente em dois fatores: o valor da taxa de precipitação máxima e o tempo de duração observados em cada um destes processos.

Primeiramente, as precipitações do tipo estratiforme têm uma característica de se espalhar por uma grande área, com uma duração de tempo maior e com uma intensidade de precipitação de valor médio ou baixo. Este tipo de chuva é resultado da formação de pequenas partículas de gelo nas camadas elevadas da troposfera. Ao cair, estas partículas agregam-se umas às outras, formando núcleos cada vez maiores. Com aumento de tamanho, estes núcleos tornam-se instáveis e ao passar por uma faixa de altitudes denominada de "*melting layer*" (camada de fusão), que pode se estender por cerca de 500 m a 1 km abaixo da isoterma de 0°C, transformam-se em gotas de chuva que se precipitam em direção à superfície da terra [1].

A faixa denominada "*melting layer*", responsável por um valor elevado de refletividade (forte eco), é também conhecida por "*brighht band*" (faixa brilhante) devido a seu aspecto bem visível quando observada na tela de um radar meteorológico. Fisicamente, trata-se de uma faixa de transição composta de neve em ponto de fusão (derretimento). Acima desta camada se tem neve e gelo e, abaixo da mesma, existe apenas partículas líquidas.

O segundo tipo de chuva é a convectiva, relacionada a uma intensidade de chuva mais forte, períodos de duração mais curtos e áreas de cobertura menores. São produzidas, geralmente, por nuvens formadas abaixo da isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  que são impelidas para cima por fortes movimentos de ar provocados pelas diferenças de pressão existentes na troposfera [1]. Um fato interessante é que este forte movimento de massa de ar, existente em seu interior, provoca a ocorrência de água na forma líquida (chuva) bem acima da isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$ . Este comportamento difere do que ocorre no caso da chuva estratiforme, onde a altura real da célula de chuva e a altura da isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$  são razoavelmente coincidentes. Desta forma, para chuvas do tipo convectiva, a definição isolada da isoterma de  $0^{\circ}\text{C}$ , ou uma temperatura ligeiramente negativa, como a altura da célula de chuva não constitui uma alternativa precisa. Cumpre salientar que este fenômeno é de fundamental importância na estruturação de modelo para o cálculo da atenuação por chuva em enlaces terra-satélite [7].

As chuvas tropicais e equatoriais são predominantemente convectivas, no entanto, ao longo do tempo desenvolve-se uma estrutura de precipitação estratiforme, que se estende sobre áreas mais extensas com menor intensidade que aquelas observadas nas precipitações convectivas [1].

Apesar de, na maioria dos casos, as chuvas de maiores intensidades cobrirem áreas não muito extensas, observa-se na região Amazônica a ocorrência de precipitações com valores elevados, durações de tempo médias ou longas e abrangendo uma área de grande dimensão. Um exemplo deste fato já foi relatado recentemente [17] por este autor. Possivelmente este é um tipo de evento que ocorre eventualmente em outras regiões equatoriais.

Na verdade, na prática, é muito difícil isolar completamente os dois tipos de chuva existentes em uma medição de precipitação por pluviógrafo ou por radar meteorológico [18,19]. Atualmente, apesar da dificuldade, buscam-se formas de separá-los e avaliar independentemente seus efeitos sobre o sinal, objetivando obter um modelo mais preciso de atenuação por chuva [19]. O próprio modelo de obtenção das distribuições estatísticas de precipitação, adotado atualmente pela U.I.T. [12], leva em conta esta separação.

Uma maneira simples de se classificar o tipo de chuva é a utilização apenas da intensidade da precipitação. O fato porém é que este procedimento introduz uma certa parcela de erro durante a separação, pois se para um determinado valor

de precipitação, verifica-se tanto a existência de chuvas convectivas como de chuvas estratiformes. A diferença é que quanto maior for este valor de intensidade de chuva, maior será a probabilidade da chuva ser convectiva e menor da chuva ser estratiforme. O caso inverso também se aplica. Portanto, resumindo, em qualquer valor de precipitação existirá sempre uma contribuição dos dois tipos de chuva na medição de precipitação realizada [18].

Mesmo assim, por sua simplicidade, alguns valores fixos são adotados como limiares de separação na literatura científica [18,20]. Como será visto no item 4.3 deste trabalho, considerando apenas a separação pelo valor da taxa de precipitação, o nível de taxa limiar que fornece um melhor resultado irá variar em relação ao local e ao ano de medição.

## 2.2. Classificação climática de Köppen

Como comentada na introdução, a utilização de uma classificação climática visa unicamente criar uma ferramenta que facilite a extrapolação dos resultados de um ponto para outro localizado dentro ou fora da região analisada. O presente trabalho adotou, em sua pesquisa, a classificação climática de Köppen [16].

A classificação de Köppen é estruturada em função da temperatura, da quantidade de chuva acumulada (mensal e anual), da vegetação e, até mesmo de certa forma, do relevo do terreno observado na região a ser analisada. Como pode se verificar, estes parâmetros estão diretamente associados à distribuição estatística da chuva em uma determinada região, sendo bastante apropriados para este tipo de mapeamento climático. Os resultados de nossa pesquisa verificaram que a utilização deste tipo de classificação em conjunto com medições de precipitação por pluviógrafos e por radares meteorológicos apresentaram bons resultados no estudo do comportamento da precipitação para a região Amazônica [13].

De acordo com a classificação de Köppen existem 5 principais grupos climáticos no globo designados por letras maiúsculas: A (Tropical Chuvoso- "*tropical rainy*"), B(Seco - "*dry*"), C (Sub-tropical – "*subtropical*"), D (Temperado – "*temperate*") e E (polar – "*polar*"). Cada um destes climas é dividido em subclimas baseados na sua diferenciação quanto à variação sazonal da temperatura e da precipitação. Detalhes maiores podem ser obtidos na referência [16]. A figura 1 apresenta os climas de Köppen que podem ser observados no Brasil [21]. Estes são:

- a) **Equatorial** : este clima cobre a maior parte da região Amazônica e parte do litoral Sul do Nordeste, predominando os subtipos Af (equatorial chuvoso ou de floresta equatorial), sem estação de seca, e Am (tropical de monção), com um período seco muito curto;
- b) **Tropical seco e úmido (Aw)**: subtipo climático que se caracteriza por um inverno seco e um verão úmido, podendo ser dividido em tropical continental (interior) e tropical marítimo (costa atlântica);

- c) **Tropical de altitude (Cw)** : comporta-se da mesma maneira que o subtipo Aw, porém, com temperatura média anual mais baixa e taxas de precipitação mais elevadas;
- d) **Subtropical (Cf)**: subtipo que caracteriza a transição entre os subtipos Aw e Cw e o D (temperado), onde o regime de chuvas é irregular, não havendo uma definição clara do período seco;
- e) **Semi-árido (BS)**: subtipo caracterizado por longas estações de seca, uma vez que a penetração de massas de ar frio é limitada pelo posicionamento geográfico da região.



Figura 1 Adaptação da classificação climática de Köppen para o Brasil [21].

### 2.3.

#### **Classificação climática de Köppen para região Amazônica**

A figura 1 apresentou uma classificação climática de Köppen para o Brasil. Nesta seção será buscado um maior detalhamento desta classificação para a região Amazônica brasileira. Verifica-se que apesar do clima da região ser classificado como equatorial [22,23,24], existem pequenas diferenças que devem ser mapeadas de forma a serem levadas em conta durante uma possível extrapolação de resultados de um local para o outro da região ou até mesmo para fora desta.

A região apresenta uniformidade quanto à temperatura, as médias se situam entre  $24^{\circ}\text{C}$  e  $26^{\circ}\text{C}$  com pequenas variações de temperaturas, de  $1^{\circ}\text{C}$  a  $2^{\circ}\text{C}$  [22], ao longo do ano. Nas figuras 3,4 e 5 pode ser observada esta particularidade.

Em relação à chuva, as precipitações médias anuais variam de 1.500 até 3.800 mm. Uma das primeiras diferenciações existentes na região é relacionada ao período do ano que apresenta um maior ou menor volume de precipitação. Na verdade, ocorre um deslocamento dos meses mais chuvosos dentro da região. Este deslocamento acontece do sul para o norte, isso é, o período chuvoso começa na parte meridional da região, caminhando continuamente para o norte. Fato análogo ocorre com o período de menor taxa pluviométrica [22,23]. Esta característica também pode ser observada nas figuras de 3 a 5.

Outra diferenciação importante, que pode afetar um planejamento de um sistema de comunicações, refere-se ao número de meses secos existentes em um determinado local da região. Na verdade, na região, podem ser observados locais onde não existe meses com seca e locais que apresentam um período de seca bem definido. A figura 2 apresenta, entre outras informações irrelevantes ao nosso trabalho, a diferenciação das localidades quanto ao número de meses secos [24]. Esta diferenciação será bastante útil na definição dos locais, pertencentes a cada tipo de subclima de Köppen, que será realizada a seguir.

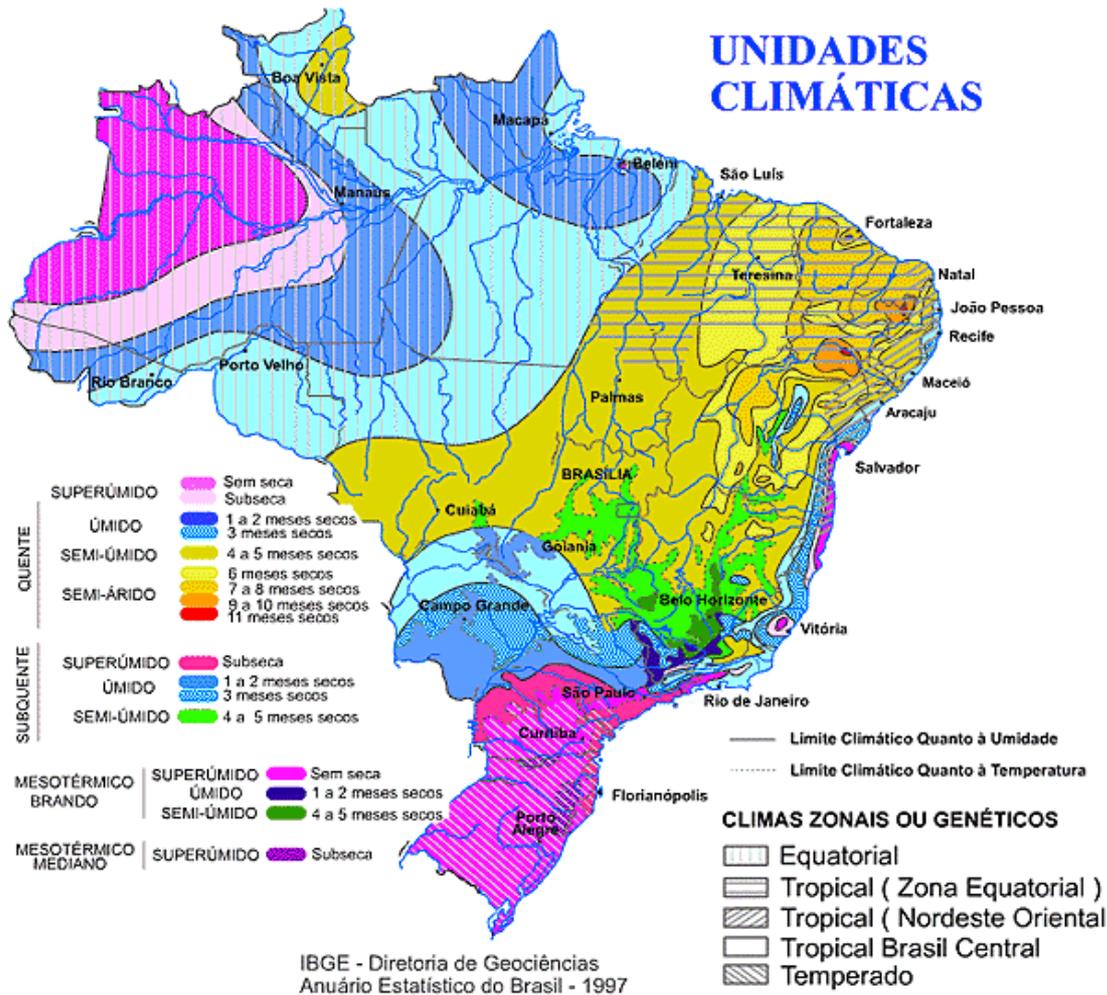


Figura 2 Diferenciação das regiões quanto ao número de meses secos no ano [16].

De acordo com a definição de Köppen, a região Amazônica apresenta apenas o clima do tipo A, porém três subclimas podem ser identificados na região: o **equatorial chuvoso** (“*rainy equatorial*”), Af, o **tropical de monção** (“*monsoon tropical*”), Am, e por fim o **tropical seco e úmido** (“*wet-and-dry tropical*”), Aw.

O subclima equatorial chuvoso (Af) é caracterizado por sua grande precipitação anual acumulada, em média acima de 2.000 mm, e por não ter, praticamente, um período de seca. Como exemplo deste tipo de região é apresentada a localidade de Cruzeiro do Sul – AC na figura 3. Pode se verificar que os meses menos chuvosos ficam acima de 50 mm acumulados, não existindo assim nenhum mês considerado como um mês de seca.

O subclima tropical de monção (Am) apresenta uma precipitação anual acumulada no mesmo patamar da encontrada no subclima Af, porém com a existência de um pequeno período de seca que varia de 1 a 3 meses. Como exemplo deste tipo de subclima é apresentada a localidade de Santarém – PA na

figura 4, onde pode ser observado um período de 3 meses (agosto a outubro) com chuva abaixo de 50 mm mensais acumulados.

Por último, o subclima tropical seco e úmido, onde os períodos de seca e chuva são bem definidos, podendo a seca durar de 4 a 6 meses. O período de chuva seria o que é chamado de inverno na região. A localidade de Boa Vista é apresentada na figura 5 como exemplo deste tipo de clima. Pela existência de um número maior de meses com seca, a precipitação anual cumulativa apresenta valores um pouco menores que os subclimas anteriores, de 1500 a 1800 mm, apesar de mesmo assim ter valores bastante altos nos meses chuvosos.

Esta separação entre os meses chuvosos e secos terá como consequência uma grande diferenciação entre as distribuições estatísticas de precipitação cumulativa anuais e de pior mês, como será visto no capítulo 4. As fronteiras que existem entre um subclima e outro, vide figura 2, não são muito bem definidas e até são variáveis de ano a ano. Na realidade, de uma forma geral, o subclima Am é uma transição entre o Af, predominantemente equatorial, e o Aw, mais próximo do clima tropical. Como pode ser analisada, a diferença mais significativa estará relacionada com a existência e a duração do período de seca ou de pouca chuva. Desta forma, a figura 2 pode ajudar na correta classificação de cada local da região quanto aos subclimas de Köppen.

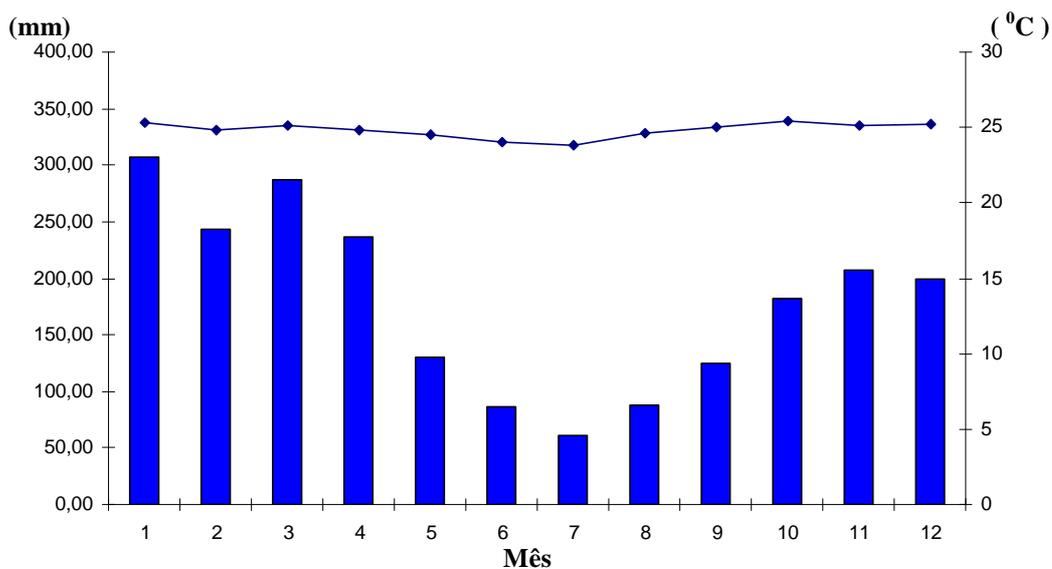


Figura 3 Variação típica mensal da temperatura, eixo da direita em °C, e da precipitação acumulativa, eixo da esquerda em mm, para o subclima Af – localidade de Cruzeiro do Sul no Acre.

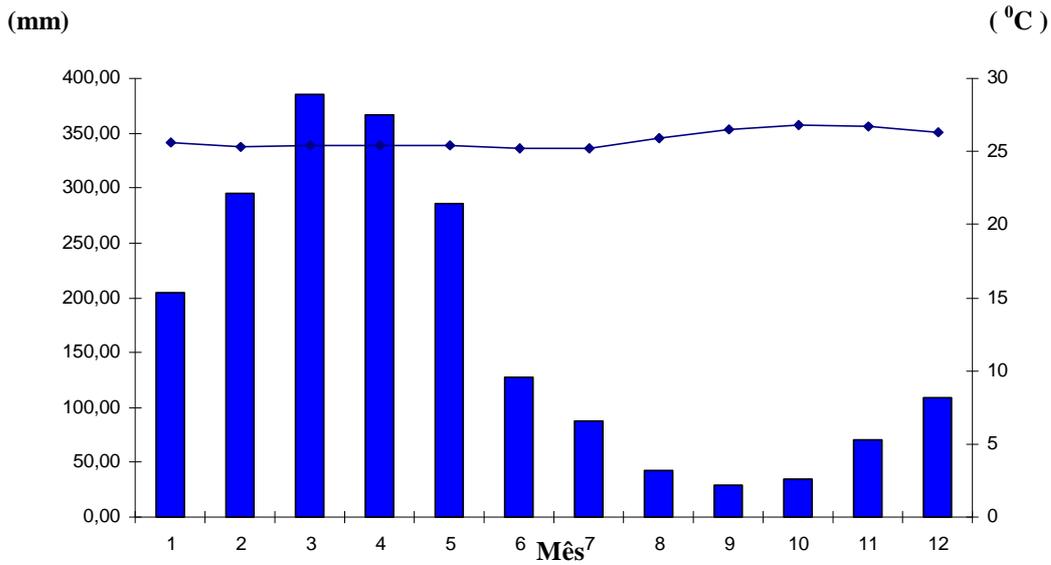


Figura 4 Variação típica mensal da temperatura, eixo da direita em °C, e da precipitação acumulativa, eixo da esquerda em mm, para o subclima Am – localidade de Santarém no Pará.

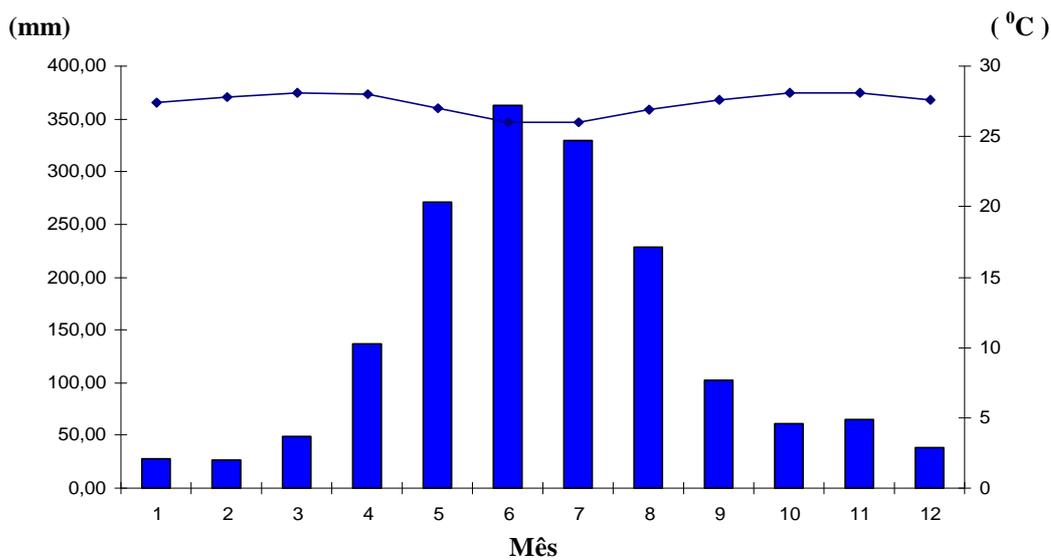


Figura 5 Variação típica mensal da temperatura, eixo da direita em °C, e da precipitação acumulativa, eixo da esquerda em mm, para o subclima Aw – localidade de Boa Vista em Roraima.

Utilizando portanto a figura 2 e outros dados provenientes de informações meteorológicas de alguns locais da região [23,25,26] definiu-se, conforme objetivo desta seção, os subclimas existentes na região conforme são apresentados na figura 6. Cabe ressaltar a existência de uma pequena região do tipo Af nas redondezas de Belém no Pará.

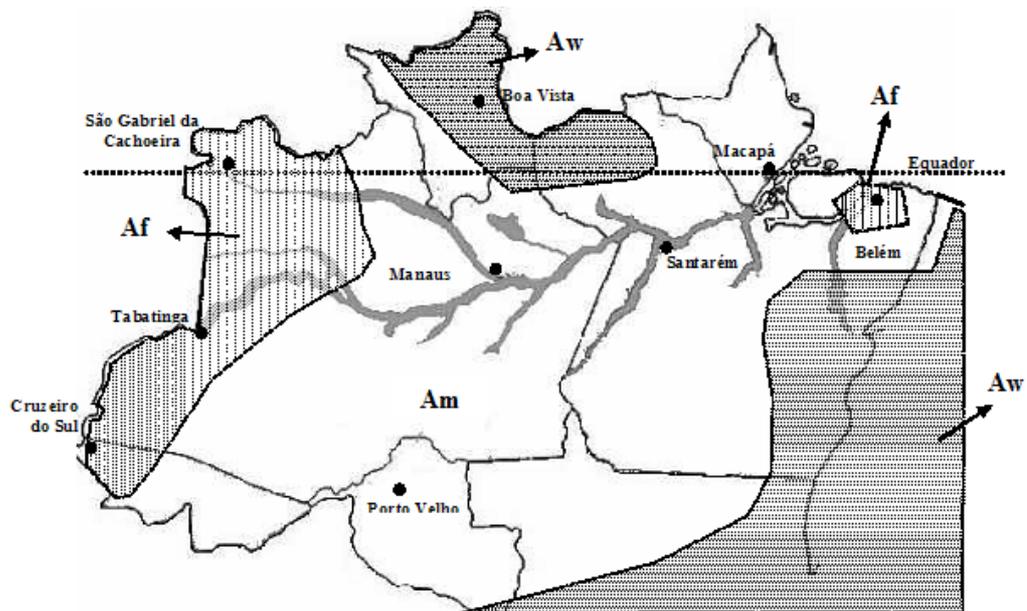


Figura 6 Diferenciação da região através da classificação climática de Köppen.