

## Mapeamento Bioclimático do Estado do Rio de Janeiro

Felipe Mendes Cronemberger<sup>1</sup>  
Raúl Sánchez Vicens<sup>1</sup>  
Julia Silva Bastos<sup>2</sup>  
Paulo Vinicius Rufino Fevrier<sup>2</sup>  
Guilherme Melo Barroso<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense - UFF/LAGEF  
Instituto de Geociências, Campus da Praia Vermelha, Boa Viagem, Niterói, RJ, Brasil  
felipecron@gmail.com.br

<sup>2</sup> Instituto Estadual do Ambiente - INEA

**Abstract.** The bioclimatic mapping has as purpose define regions by their similarity in temperature, precipitation, evapotranspiration and forest types. When some climate characteristics are likely in a certain place, they form the principal conditions for the plants to grow, in a way that it define the limits of distribution of plants and animals species. The bioclimatic map is use for ordering the land use by their suitability for agriculture, reforest, preservation and other economic uses. This article has the purpose to explain how to calculate de water balance using Thornthwaite (1948) methodology in a grid format for all the Rio de Janeiro state in a GIS software, the equations use map algebra for creating grids for every step of the water balance, from the potential evapotranspiration to the water deficit and water excess. As secondary purpose bring a first view over the landscape configuration of Rio de Janeiro state. The methodology was to make a bioclimatic zoning in two steps, typologies and regionalization. By making bioclimatic typologies we try to represent the climatic and forest patterns in function of the relation relief-weather and weather-plants in the state, and in the climatic regionalization to represent differences between same climatic typologies but different regions.

**Palavras-chave:** bioclimatic zoning, map algebra, water balance, zoneamento bioclimatico, álgebra de mapas, balanço hídrico.

### 1. Introdução

O mapeamento bioclimático tem como objetivo delimitar a zonalidade geográfica segundo o comportamento espacial de variáveis climáticas e das comunidades vegetais associadas às diferentes zonas. Tais classificações são definidas em função do comportamento espacial e temporal de variáveis como temperatura, umidade e precipitação.

Quando determinadas características climáticas coincidem em uma determinada superfície, seu conjunto forma as principais condicionantes à distribuição das espécies sobre a paisagem, definindo assim, limites de ocorrência e taxas de abundância de espécies e de populações biológicas em geral.

Dessa maneira o mapa bioclimático permite inferir, tanto a distribuição espacial de domínios climáticos como também dos domínios florestais de uma vegetação potencial (fitofisionomias), assim como, das espécies economicamente cultiváveis ao clima local.

O zoneamento bioclimático representa um primeiro passo para a definição de um planejamento territorial do Estado do Rio de Janeiro (RJ), este envolve um estudo detalhado e preciso do meio físico e biótico da região, servindo como subsidio para um estabelecimento de usos (agrícolas e de preservação) mais adequados para cada localidade de acordo com suas características e capacidade suporte.

Baseado em estudos realizados por Golfari (1980) que criou um zoneamento bioclimático para o RJ com indicações das principais espécies de reflorestamentos econômicos, na escala 1:400.000, elaborou-se um novo zoneamento bioclimático para o RJ, na escala 1:100.000.

A metodologia utilizada tanto para o mapeamento de Golfari como para este trabalho foi baseada na classificação climática de Thornthwaite (1948), que leva em conta os efeitos de temperatura, precipitação e balanço hídrico como elementos de classificação climática.

Este artigo tem como objetivo apresentar uma metodologia de cálculo do balanço hídrico por meio de mapas (grade de dados), utilizando álgebra de mapas. Como objetivo secundário tem-se análise preliminar das tipologias e regionalização bioclimáticas no estado. As tipologias representam os padrões climáticos em função das relações relevo-clima, e a regionalização representa estas tipologias individualizadas em função de sua localização dentro do estado.

## 2. Materiais e Métodos

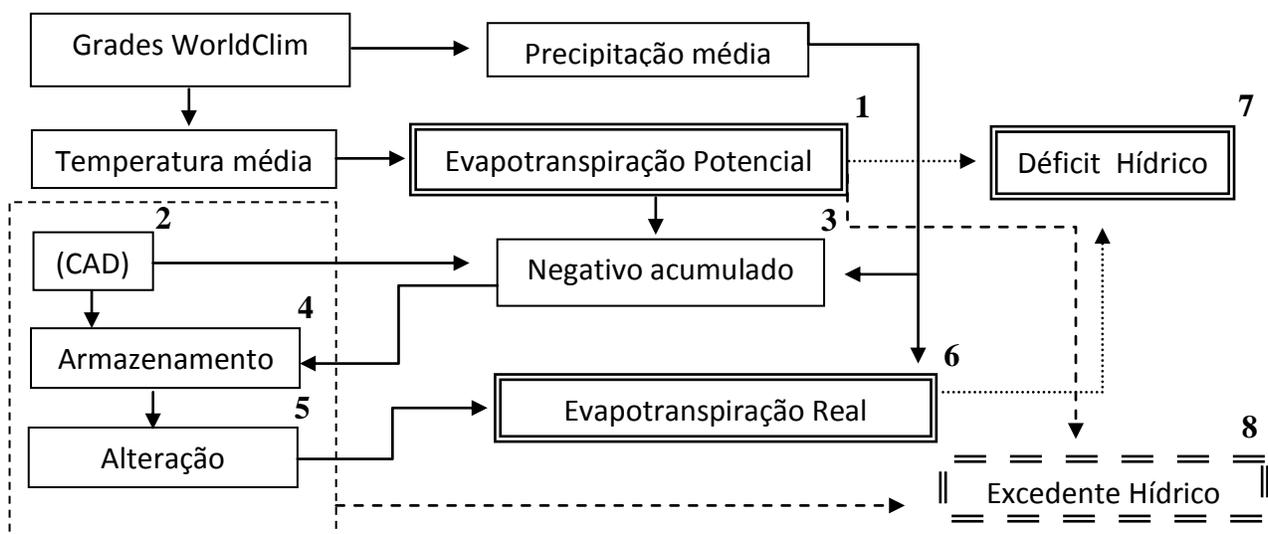
Na elaboração do mapa de zonas bioclimáticas foram utilizadas as variáveis altitude, precipitação (mínima e média anual), temperatura média anual, evapotranspiração potencial, déficit hídrico e excedente hídrico. Os dados de altimetria foram obtidos a partir de dados das imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e as grades climáticas foram produzidas a partir de dados Worldclim.

O WorldClim é um projeto que monitora as condições climáticas ao redor do mundo, com inúmeras estações pluviométricas e meteorológicas, e na interpolação dos dados levam em conta o relevo (utilizando o SRTM). Os mapas foram adquiridos na forma de grades de dados (Raster) climáticos a partir do set de layers globais (WorldClim). As grades contêm valores médios calculados para uma série histórica de 50 anos (1950-2000), (Hijmans et al., 2005). As grades de dados foram recortadas pela extensão do RJ e então transformadas em, estes pontos foram (re) interpolados de modo a possibilitar um refinamento das células, que passaram a ter 100 m de extensão. Onde foram trabalhadas as grades de: temperatura média mensal (°C), a precipitação média anual (mm) e do mês mais seco (mm),

### 2.1 Cálculo de Balanço Hídrico

O cálculo de balanço hídrico procura mensurar os diferentes estágios do ciclo hidrológico, por meio das variações de precipitação, temperatura e capacidade de armazenamento de água no solo. O balanço hídrico é representado por um conjunto de índices que procuram medir a evaporação da água até seu acúmulo no solo. Calculado conforme fluxograma a seguir (figura 1).

Figura 1 – Fluxograma metodológico para cálculo do balanço hídrico



A determinação da evapotranspiração foi realizada através do método de Thornthwaite (1948), que estima a evapotranspiração potencial (ETp) e é calculada conforme a equação explicada a seguir. Esse método foi adotado por utilizar como único parâmetro de entrada a temperatura média mensal dos 12 meses do ano. A equação empírica do modelo de Thornthwaite é a seguinte (equação 1):

$$ETp = F \cdot 16 \left( 10 \cdot \frac{T}{I} \right)^\alpha$$

Onde: ETp = evapotranspiração potencial (mm/mês)

Fc = Fator de correção em função da latitude e mês do ano

$$\alpha = 6,75 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 0,01791 \cdot I + 0,492$$

$$I = \text{índice anual de calor} = \sum_{i=1}^{12} \left( \frac{T_i}{5} \right)^{1,514}$$

T = Temperatura média mensal (°C)

A partir da utilização de ferramentas de cálculo de grades de dados (*Raster calculator*), foi possível calcular o “i” (índice mensal de calor) ponto a ponto para cada um dos meses, utilizando as grades de dados de temperatura média mensal do WorldClim. Em seguida, pelo somatório de “i” foi obtido o I (índice anual de calor). Com a definição destas variáveis e utilizando os fatores de correção mensais para a latitude 22°S (Camargo, 1962) foi calculado a ETp mensal.

No cálculo da evapotranspiração potencial, apenas os fatores climáticos são considerados. Já no cálculo da evapotranspiração real os fatores relacionados à vegetação e aos solos passam a ser integrados a equação e assim são calculados também o déficit e o excedente hídrico.

Para o cálculo da evapotranspiração real (ER) e balanço hídrico foi utilizado o método de Thornthwaite & Mather (1948). A estimativa de evapotranspiração real segundo este método leva em consideração a capacidade de armazenamento de água no solo em função da profundidade média das raízes (cobertura vegetal) por tipo de solo. Adotou-se as capacidades de armazenamento de água (CAD) adaptadas de Mota (1976), medidas em função da profundidade das raízes, para todos os tipos de solo predominantes na área, o CAD considerado para vegetação secundária média e tardia foi de 300 mm e inicial 200mm, para o pasto e demais culturas 100 mm e para urbano não consolidado 50mm, áreas urbanas e copos d água não foram considerados.

A partir dos valores de CAD, foram calculados nesta ordem os valores de: negativo acumulado, taxa de armazenamento, taxa de alteração, evapotranspiração real, déficit hídrico e excedente hídrico compondo assim o modelo de balanço hídrico.

Para o cálculo das grades mensais de todas as variáveis que compõem o balanço hídrico foi utilizada metodologia a propostas por Cronemberger (2009), na qual propõe uma serie de equações de álgebra de mapas usando ferramentas do software ArcGIS®.

Para se calcular o valor de negativo acumulado (NA) e necessário primeiro definir a precipitação (P) menos a evapotranspiração potencial (ETp) mensal, pela equação:  $P_n - ETp_n$  onde m é igual ao mês em questão. O Negativo Acumulado (NA) varia de resultado conforme o valor de  $P-ETp$ , deforma que: se  $P-ETp > 0$ ,  $NA = 0$ ; se  $P-ETp < 0$ ,  $NA = P-ETp$ ; e se  $P-ETp > 0$  e o  $NA_{n-1} < 0$ , então NA será igual a (equação 2):

$$NA = \text{Logn} \left[ \frac{(\text{Arm})_{n-1} + (P-ETp)_n}{CAD} \right] * CAD.$$

Onde: Logn é o logarítmico neperiano

(Arm)<sub>n-1</sub> é o Armazenamento do mês anterior  
 P-ET<sub>p<sub>n</sub></sub> é a precipitação menos a evapotranspiração do mês em questão  
 CAD é a capacidade de armazenamento

Para o cálculo do negativo acumulado foi utilizada a função condicional "se", esta função é utilizada para retornar um determinado resultado mediante a um teste lógico referente ao valor contido em uma célula indicada, retornando um valor se uma condição específica for avaliada como VERDADEIRO e um outro valor se for avaliada como FALSO, funcionando assim **SE(teste lógico; valor se verdadeiro; valor se falso)**. Foi utilizada a ferramenta "Map Algebra" do software ArcGIS® com a seguinte equação:

$$SE (P-ET_{p_n} < 0, P-ET_{p_n}, SE (NA_{n-1} < 0, LN ((Arm_{n-1} + P-ET_{p_n}) / CAD) * CAD, 0))$$

Sobre os valores obtidos pelo negativo acumulado de cada mês do ano foi calculada a taxa de armazenamento utilizando a seguinte expressão, (equação 3):

$$Arm = CAD * e \left[ \frac{NA}{CAD} \right]$$

Onde: "e" é o exponencial neperiano

Para o cálculo da alteração (Alt) foram utilizados os valores de armazenamento mensais, onde: Alt = ao Arm<sub>n</sub> - Arm<sub>n-1</sub>.

A evapotranspiração real (ER) varia quando o Armazenamento é total (igual ao CAD) e quando P-ET<sub>p</sub> for positivo ai ER é igual a ET<sub>p</sub>, quando P-ET<sub>p</sub> for negativo ER é igual a soma das colunas P e Alt. Esta expressão foi calculada utilizando o "Map Algebra" onde:

$$SE (P-ET_{p_n} > 0, ET_{p_n}, P_n - alt_n)$$

O Déficit hídrico é igual a diferença entre ET<sub>p</sub> e ER. O Excedente hídrico só existe quando P-ET<sub>p</sub>>0 e o Arm igual ao CAD, nesse caso, o Excedente será igual a (P - ET<sub>p</sub>) + Alt.

$$SE ( P-ET_{p_n} < 0, 0, CON ( Arm_n >= CAD, P-ET_{p_n} + alt_n 0))$$

## 2.2 Classificação Climática

A classificação climática de Thornthwaite é baseada numa serie de índices calculados em função dos valores de Excedente hídrico (Exc), déficit hídrico (Def) e evapotranspiração potencial (ET<sub>p</sub>). Os índices utilizados foram: Índice efetivo de umidade, calculado em função do índice de umidade e índice de aridez que classifica em função da umidade e o índice de eficiência térmica que classifica em função das temperaturas.

O índice de eficiência térmica é a própria expressão da evapotranspiração potencial, pois a mesma é função direta da temperatura e do comprimento do dia, grandezas que resumem as condições térmicas de um local qualquer do globo (worldclim,19xx). É calculado separando os valores de evapotranspiração potencial em classes definidas conforme tabela 1.

Tabela 1 - Índice de eficiência Térmica em mm.

Índice de eficiência Térmica (mm)	Tipo Climático
1140 >	Tropical (Megatérmico)
1140 - 997	Tropical (Mesotérmico)
997 - 570	Sub-tropical (Mesotérmico)

O Índice efetivo de umidade é calculado segundo fórmula abaixo (equação 4), e classificado segundo a tabela 2. Sendo separado em 5 classes de umidade.

$$\text{Índice Efetivo de umidade } I_m = I_u - (0,6 * I_a)$$

Onde: Índice de Umidade  $I_u = 100 * (Exc / EP)$

Índice de aridez  $I_a = 100 * (Def / EP)$

Tabela 2 - Índice de efetivo de Umidade.

Índice efetivo de Umidade	Tipo Climático
100 >	Super úmido
100 – 40	Úmido
40 – 20	Úmido e Sub-úmido
20 – 0	Sub-úmido
0 – -20	Seco

Além destes índices propostos por Thornthwaite foram utilizados também as grades de precipitação total anual e precipitação do mês mais seco, estas grades foram usados para separar climas úmidos de úmidos secos. Foram reclassificadas as áreas onde pelo índice de umidade foi considerado úmido porem com precipitações totais anuais menores que 1000 mm ou média de precipitação do mês mais seco inferior a 20 mm estes foram reclassificados para a classe úmidos a sub úmidos.

Sobre as tipologias climáticas foram sobrepostos os mapas de elevação (SRTM) e geomorfologia (DRM) de forma a compor uma regionalização bioclimática para todo o RJ. Foram definidas 17 regiões bioclimáticas, mostradas na tabela 3.

Tabela 3 – regiões bioclimáticas

Região	Tipo climático	Fitofisionomia Florestal
Sope da Bocaina	Tropical Super úmido	Ombrófila densa de Terras baixas a Submontana
Serra da Bocaina (Alta)	Subtropical Super úmido	Ombrófila densa Montana a Alto-montana
Baixadas fluminenses	Tropical Úmido	Ombrófila densa de Terras baixas
Sopes superumidos	Tropical Úmido a Super úmido	Ombrófila densa Submontana
Sopes umidos	Subtropical Úmido	Ombrófila densa Montana
Serra dos Orgaos	Subtropical Super úmido	Ombrófila densa Montana a Alto-montana
Sope do Desengano	Tropical Úmido	Ombrófila densa Submontana
Serra do Desengano	Subtropical Úmido a Super úmido	Ombrófila densa Montana a Alto-montana
Serra da Mantiqueira	Subtropical Super úmido	Ombrófila densa Montana a Alto-montana
Macicos Costeiros	Subtropical ou Tropical Úmido	Ombrófila densa Submontana a Montana
Maciços Norte fluminense	Subtropical ou Tropical Úmido	Ombrófila densa Submontana a Montana
Maciços do Vale do Paraíba	Subtropical Úmido	Ombrófila densa Montana
Vale do Paraíba	Subtropical Sub-úmido a Úmido	Estacional semi-decidual Montana
Baixada Campista	Tropical Sub-úmido	Estacional semi-decidual Submontana
pre-região dos Lagos	Tropical Sub-úmido a Úmido	De transição de terras baixas
Região dos Lagos	Tropical Sub-úmido	Estacional semi-decidual de terras baixas
Planícies costeiras secas	Tropical seco	Estacional decidual de terras baixas

### 3. Resultados e Discussões

A definição das classes bioclimáticas foi feita sobrepondo se as grades de eficiência térmica, efetivo de umidade, precipitação do mês mais seco e precipitação total anual.

A grade de eficiência térmica separou as áreas tropicais das subtropicais do RJ, em função da evapotranspiração potencial (997 mm). O limiar de separação ocorreu entre as altitudes de 400 a 500 m. Esta mesma faixa altitudinal é usada também para classificar as florestas de mata atlântica em Submontanas e Montanas, conforme classificação IBGE (1992).

As grades de efetivo de umidade e das precipitações (anual, mês mais seco) foram utilizados para separar as áreas conforme seu grau de umedecimento. O índice proposto por Thornthwaite explicou bem as áreas secas e super úmidas. Porém nas regiões interiores (mais continentais), onde ocorrem déficits hídricos em função de invernos secos ou baixas precipitações anuais, foram utilizadas as grades de precipitação (anual, mês mais seco) como proposto por Vicens et al. (2009) para diferenciar as fisionomias florestais estacionais das ombrófilas no RJ.

Com a sobreposição dos mapas climáticos obteve-se as tipologias climáticas, onde foram definidas 8 classes, em função da temperatura e umidade, apresentadas na figura 2.

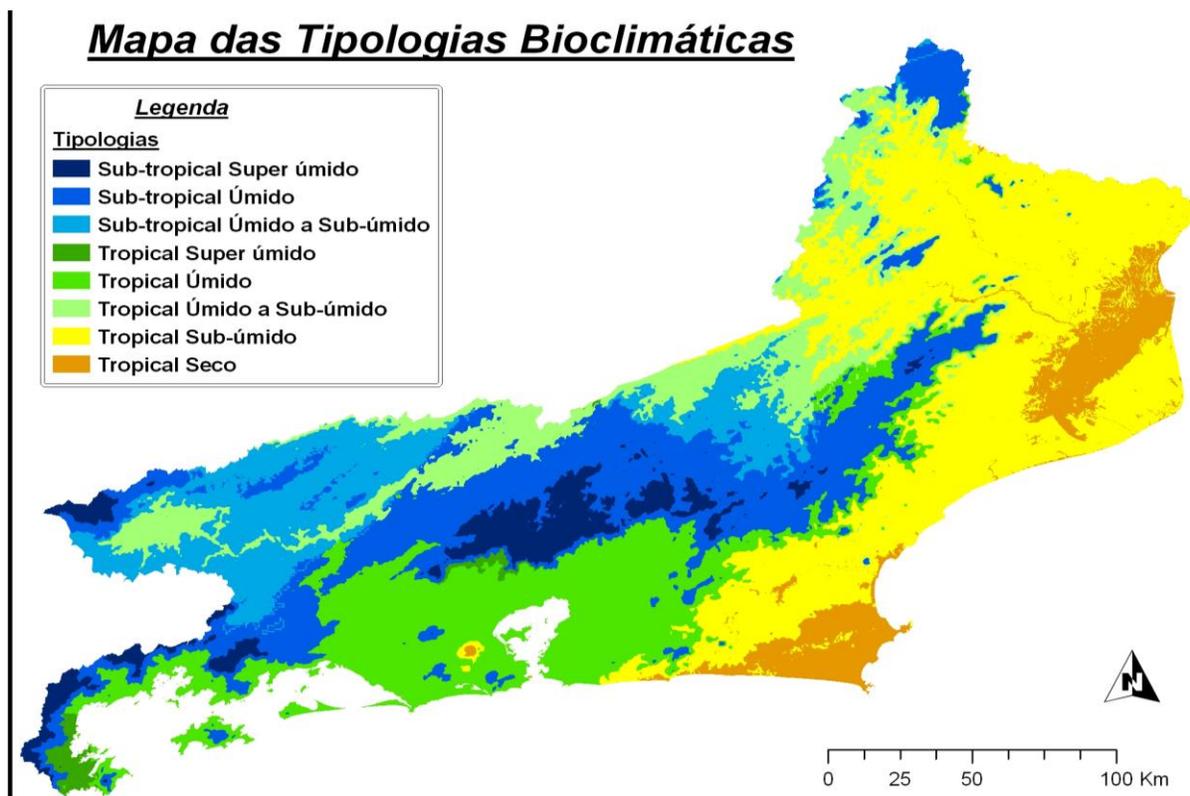


Figura 2 – tipologias bioclimáticas

A ocorrência de regiões subtropicais super úmidas ficou entre as altitudes 900 – 1000m, junto às partes superior das serras fluminenses, com destaque para as serras dos Órgãos e Bocaina. As áreas úmidas se localizaram nos sopés das serras e nas bacias hidrográficas mais a oeste (Guandu e Baía da Guanabara). As áreas úmidas e sub-úmidas na maior parte no vale do Paraíba. As áreas sub-úmidas nas baixadas a leste e norte do RJ em especial da região dos lagos e baixada campista e boa parte do baixo vale do Paraíba e Itabapoana. As áreas secas ficaram na região de cabo-frio e no nordeste do RJ. As fitofisionomias foram diferenciadas em função do

grau de umedecimento, nas regiões secas ficam as florestas estacionais, nas regiões sub úmidas a úmidas as estacionais semi decíduais, e nas partes úmidas as florestas ombrófilas.

Desta forma sobre as tipologias climáticas foi elaborado a regionalização bioclimática para todo o RJ, conforme mostrado na figura 3.

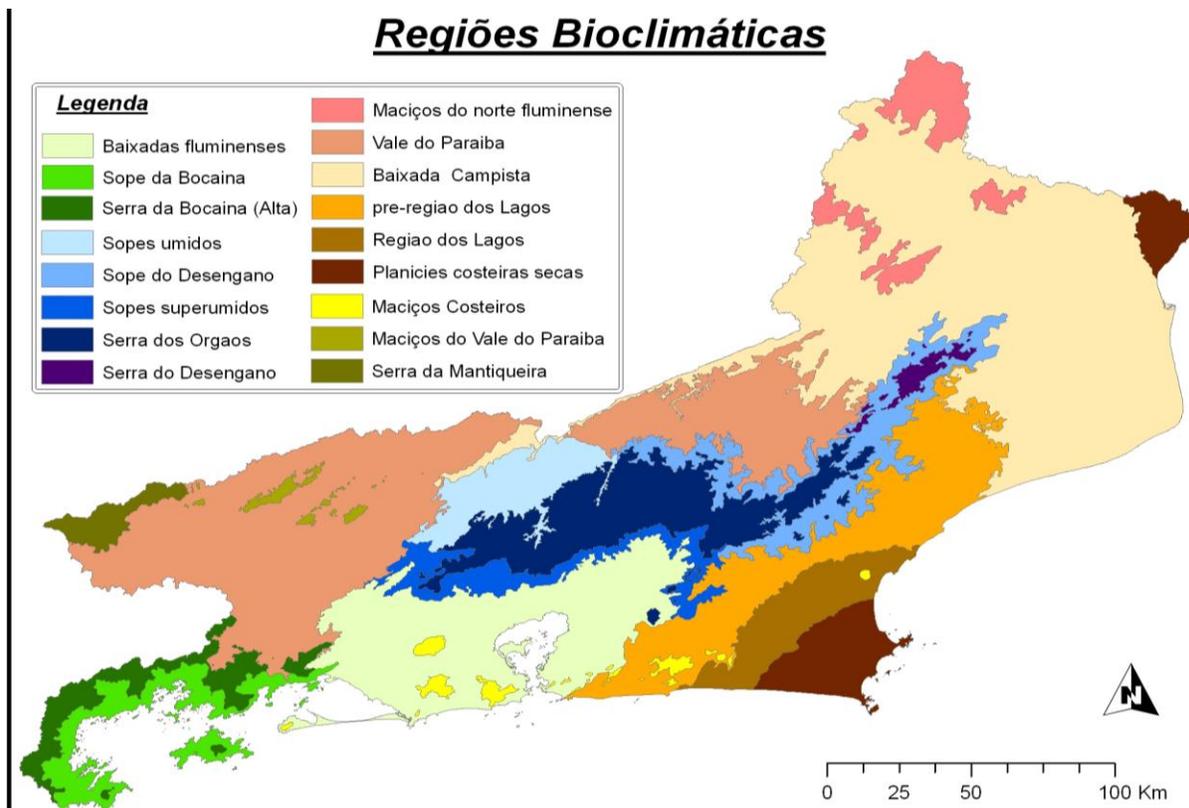


Figura 3 – Regionalização bioclimática

A diversidade de paisagens do RJ é fortemente influenciada pelas morfologias do relevo, marcado por serras escarpadas e montanhas, que cruzam o estado de SO-NE, pelos morros e colinas dos planaltos interiores e sopés de serras e pelas planícies litorâneas. Estas variações no relevo influenciam as condições climáticas locais, expondo uma relação direta entre o relevo e a precipitação, altitude e temperatura, assim como a evapotranspiração e a cobertura vegetal.

O clima tropical domina 2/3 do estado, caracterizado por uma media de temperatura bem distribuída ao longo do ano, se estendendo da linha de costa até uma altitude de 400-500m onde pela maior variação de temperatura, menores médias e menor evapotranspiração passa a ser classificado como subtropical (altitude).

A presença de climas subúmidos e secos é caracterizada de duas formas, quando a uma precipitação mal distribuída, com chuvas concentradas no verão e inverno seco, típica dos planaltos do vale do rio Paraíba, e quando a precipitações escassas típica da região leste e nordeste do estado. O relevo destas regiões é marcado por planícies, mares de morros ou superfícies colinosas, com alta incidência solar, elevada temperatura e evapotranspiração.

Em contraponto, as serras escarpadas apresentam altos índices pluviométricos ao longo de todo ano por ocasião das chuvas orográficas e menores temperaturas o que afeta sensivelmente as evapotranspirações, sendo classificadas como subtropicais super úmidas a úmidas.

As tipologias de floresta no RJ podem ser diferenciadas mesmo sob um único “domínio climático”, em função das variações de insolação de cada vertente, das variações de temperaturas devido a proximidade aos cumes ou, ainda, a concentração da umidade advinda do oceano.

#### **4. Conclusões**

Este trabalho ao utilizar o modelo de balanço hídrico de Thornthwait (1948) como metodologia para o zoneamento bioclimático do RJ, procurou assimilar novos conceitos e métodos aos já existentes. Os parâmetros utilizados na metodologia procuram refletir diversos fatores naturais (clima, vegetação, relevo) e a influência de seus processos sobre a paisagem, servindo como indicativo sobre a situação dos recursos naturais renováveis.

Assim a utilização deste método e de seus parâmetros específicos deve ser feita na intenção de se obter os tipos climáticos em função da valoração numérica dos parâmetros físicos, que desta forma, delimitem diferentes zonas climáticas

Neste sentido a utilização de sistemas de informações geográficas (SIG) permitiu que um grande número de dados fossem gerados, analisados e visualizados na forma de mapeamentos integrados. De forma geral o SIG permite uma maior liberdade para aplicação metodológica do balanço hídrico, bem como da representação da interação dos vários fenômenos naturais nos processos e dinâmicas da paisagem. Neste trabalho optou-se pelo uso de grades climáticas do Wordclim e SRTM, por sua fácil aquisição, escala compatível, e gratuidade.

Em vista da expansão das atividades econômicas no RJ e de sua pressão sobre os remanescentes florestais, faz-se necessário um planejamento sobre a ocupação do solo no estado, definindo zonas de aptidão e de inaptidão para diferentes usos.

A relação clima-relevo fica evidente no RJ e por isso o mapeamento bioclimático ganha destaque e torna-se essencial as políticas públicas, visto que em distâncias pequenas encontra-se uma grande diversidade de climas e por conseguinte de aptidão agrícola para diferentes culturas.

As propostas apresentadas neste trabalho a respeito das tipologias e regiões climáticas e fitofisionômicas tem como objetivo fornecer subsídios a implementação de um Zoneamento Ambiental. Neste caso a abordagem utilizada se restringiu aos aspectos biofísicos da região.

Este trabalho tratou então de analisar e compreender estes aspectos de forma a propor um ordenamento das atividades de uso do solo em função de suas potencialidades climáticas.

#### **5. Referências bibliográficas**

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Rev.*, v.38. 1948. p.55-94.

IBGE Manual Técnico de Vegetação. Manuais Técnicos em Geociências. 1991, 92p.

Hijmans, R.J.; Cameron, S.E.; Parra, J.L.; Jones, P.G. e Jarvis, A. Very high resolution interpolated climate surface for global land areas. *Int. J. of Climatol.* 2005, 25: 1965-1978

Vicens, R.S.; Cronemberger, F.M.; Cruz, C.B.M. Análise multi-resolução e modelagem do conhecimento na diferenciação de fisionomias de florestas em remanescentes de Mata Atlântica no Estado do Rio de Janeiro, Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, INPE, 2009. p. 4519-4526.

Cronemberger, F.M. Diagnóstico físico conservacionista da bacia hidrográfica do rio Santana. 2009. 137 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal Fluminense, Rio de Janeiro. 2009.

Golfari, L. Moosmayer, H. Manual de reflorestamento do Estado do Rio de Janeiro. Banco de desenvolvimento do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 1980. 382 p.