

ÍNDICES HÍDRICO, DE ARIDEZ E DE UMIDADE NA REGIÃO NORTE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Data da submissão: 05/10/2023

Data de aceite: 01/12/2023

José Carlos Mendonça

Laboratório de Engenharia Agrícola
/ Universidade Estadual do Norte
Fluminense Darcy Ribeiro - UENF,
Campos dos Goytacazes, RJ.
<http://lattes.cnpq.br/0262550173367199>

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi estimar os Índices Hídricos, de Aridez e de Umidade em cinco municípios da região Norte do Estado do Rio de Janeiro. Foram utilizados dados médios mensais de temperatura e totais mensais de precipitação pluviométrica para o período compreendido entre 1939 a 2017. Nos resultados obtidos pode se observar que as localidades de Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira, Farol de São Tomé, Quissamã, São Francisco de Itabapoana_Cacimbas, segundo a classificação de Thorntwaite, o tipo climático, apresentam-se com características de regiões subúmidas secas, apresentando ainda uma tendência de elevação do Índice de Aridez (Ia) e conseqüentemente redução dos Índices de Umidade (Iu) e Hídrico (Ih).

PALAVRAS-CHAVE: Precipitação mensal, mudanças climáticas, balanço hídrico

climatológico.

ABSTRACT: The objective of this work was to estimate the Water, Aridity and Humidity Indexes in five municipalities in the Northern region of the State of Rio de Janeiro. Average monthly temperature data and monthly rainfall totals were used for the period between 1939 and 2017. In the results obtained, it can be seen that the locations of Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira, Farol de São Tomé, Quissamã, São Francisco de Itabapoana_Cacimbas, according to Thorntwaite's classification, the climate type, presents characteristics of dry sub-humid regions, also showing a tendency to increase the Aridity Index (Ia) and consequently reduce the Humidity (Iu) and Water Indexes (Ih).

KEYWORDS: Monthly precipitation, climate change, climatological water balance.

1 | INTRODUÇÃO

Para se determinar uma classificação climática consistente para uma região é necessário examinar cuidadosamente uma longa série de dados representativos, incluindo não só a

precipitação, mas, também, a temperatura e a umidade relativa do ar. As classificações climáticas mais aceitas pela comunidade científica levam em conta as condições térmicas e hídricas, por isso, a ênfase aos índices hídricos, de aridez e de umidade, calculados por meio do balanço hídrico de Thornthwaite & Mather.

O balanço hídrico pode ser entendido como a contabilização dos ganhos e perdas de água, em determinado volume de solo. Os ganhos são constituídos, basicamente, pela precipitação pluvial, enquanto as perdas ocorrem por evapotranspiração, percolação profunda e escoamentos superficial e subsuperficial de saída. O volume de solo é definido pela profundidade efetiva do sistema radicular, em que se observa a absorção de água pelas raízes.

Como subprodutos do balanço hídrico, têm-se os índices hídrico (Ih), de aridez (Ia) e de umidade (Iu). Thornthwaite (1948) definiu o índice hídrico como sendo a razão entre o excedente de água no solo (EXC) e a evapotranspiração potencial (ETP), o índice de aridez como a deficiência de água no solo (DEF) e a evapotranspiração potencial (ETP) e por fim o índice de umidade (Im) como a razão entre a diferença anual entre o suprimento excedente de água (EXC) e 60% da deficiência hídrica anual (DEF). A definição de aridez para fins de aplicação no Plano de Ação de Combate à Desertificação, elaborado pelas Nações Unidas, baseou-se na metodologia desenvolvida por Thornthwaite (1941), com posterior ajustamento por Penman (1953), quando o índice de aridez (IA) de uma região depende da quantidade de água advinda da chuva (P) e da evapotranspiração potencial (ETP).

XAVIER et al. (2000), citam que o conhecimento do clima de uma região fornece subsídio para o planejamento em diversas áreas de atuação, sejam elas na agricultura, turismo, planejamento urbano e outras, e analisando as séries normais de 1931/60 e 1961/90 para a estação de Itaperuna, RJ, mostraram que há indícios de que o clima da região, em torno daquela localidade, está se tornando mais seco e mais quente, sendo classificado como clima Megatérmico Subúmido Seco. Neste sentido, foi realizado um estudo preliminar (MARQUES et al.,2001), com dados meteorológicos dos últimos 40 anos referentes a algumas estações da região Norte do Estado do Rio de Janeiro, onde foi mostrado que há indícios de que a região vem sofrendo um processo de mudança climática, com transição para clima semi-árido. Complementando este estudo, foi realizado um levantamento das condições hídricas do município de Campos dos Goytacazes, para um período de 5 anos, tendo sido constatado um razoável déficit no armazenamento de água no solo (ARM) em relação ao armazenamento crítico (ARMc). André et al (2008) utilizaram médias mensais da precipitação de 48 estações meteorológicas, em um período de 30 anos (1971-2000) com o objetivo de estabelecer as regiões pluviometricamente homogêneas utilizando-se análise hierárquica e não hierárquica de agrupamento e concluíram que o Estado do Rio de Janeiro pode ser dividido em seis regiões pluviometricamente homogêneas sendo duas delas compreendidas por municípios das regiões Norte e Noroeste Fluminense, que se diferenciam em relação ao regime de chuvas.

Neste contexto, este trabalho teve por objetivo estimar os índices hídrico, de aridez e de umidade dos municípios de Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira, Farol de São Tomé (Distrito de Campos dos Goytacazes), Quissamã e São Francisco do Itabapoana_Cacimbas, todos localizados na região Norte do Estado do Rio de Janeiro a partir de séries históricas mínima de 45 e máxima de 78 anos.

2 | METODOLOGIA

Os índices hídrico, de aridez e de umidade foram calculados para grandes períodos de dados referentes as estações de Campos dos Goytacazes (1945 a 2017), Cardoso Moreira (1939 a 2017), Farol de São Thomé (1967 a 2017), Quissamã (1945 a 2017) e São Francisco do Itapaboana_Cacimbas (1972 a 2017), respectivamente com 72, 78, 50, 72 e 45 anos de valores mensais, e, que, de acordo com André, et al (2008) compõem as região pluviometricamente homogênea VI do Estado do Rio de Janeiro.

Na Tabela 1 são apresentadas informações referentes às estações meteorológicas das redes do INMET e da ANEEL e sua classificação quanto à região homogênea a que pertence.

Localidades	Região Homogênea (Andre et al. 2008)	Latitude	Longitude	Altitude
Campos dos Goytacazes	VI	21° 44'00"	41° 19'00"	11 m
Cardoso Moreira	VI	21° 29'31"	41° 36'49"	20 m
Farol de São Tome	VI	22 ° 02'33"	41° 03'20"	2 m
Quissama	VI	22 ° 06'22"	41° 28'16"	15 m
SFI_Cacimbas	VI	21 ° 28'58"	41° 06'12"	15 m

Tabela 1. Relação das estações meteorológicas do Norte Fluminense utilizadas no presente estudo.

Para a estimativa da temperatura média mensal do ar foram utilizados os coeficientes das equações de regressão linear múltipla propostos por Sucharov (Comunicação pessoal) em função da latitude e da altitude, para as regiões continentais do Estado do Rio de Janeiro. A evapotranspiração potencial mensal (ETP) foi obtida pelo método de Thornthwaite (1948), utilizando-se dados da média mensal da temperatura do ar. Para a obtenção dos balanços hídricos climatológico foi empregado o método de Thornthwaite & Mather (1955) utilizando-se de um software cedido pelo Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP (Sentelhas et al., 2000), considerando-se a Capacidade de Água Disponível (CAD) de 100 mm onde se obteve os valores mensais do déficit (DEF, em mm) e o excesso de umidade no solo (EXC, em mm). Para cálculo do índice de umidade (Im) utilizou-se a técnica descrita em Vianello & Alves (1991), onde:

$$I_h = \text{EXC} / \text{ETP} ;$$

$$I_a = \text{DEF} / \text{ETP} ;$$

$$I_m = \text{EXC} / \text{ETP} - 0,6 I_a$$

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os dados médios de temperatura do ar e de precipitação foi realizado o balanço hídrico, para as localidades estudadas e então calculados os índices hídricos, de aridez e umidade.

Na Figura 1 são apresentados os gráficos dos valores da media anual do Índice Hídrico (Ih) obtidos nas estações da região homogênea VI.

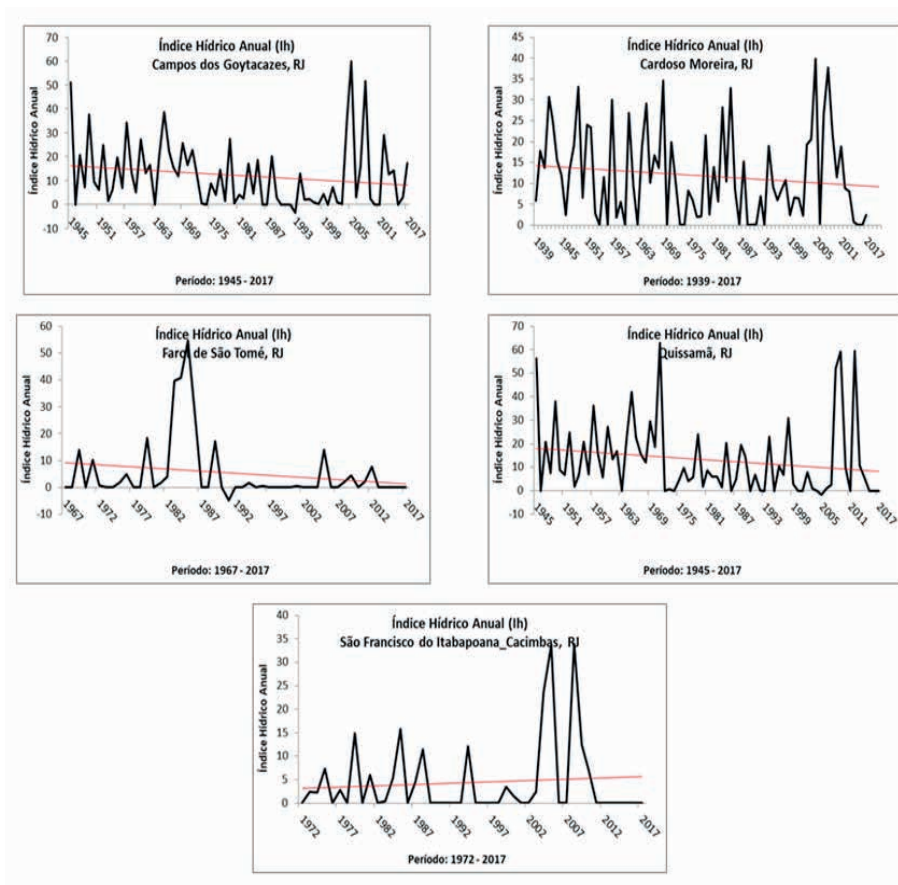


Figura 1: Evolução temporal dos valores dos índices hídricos (Ih) nas estações da região homogênea V.

Observando a Figura 1 pode-se perceber a variação dos valores médios anuais do Índice Hídrico (Ih) durante os períodos avaliados. O Ih variou entre o valor máximo de 59,96 e mínimo de -3,35 em Campos dos Goytacazes (anos de 1945 a 2017 = 72 anos), 39,77

e 0,00 em Cardoso Moreira (anos de 1939 a 2017 = 78 anos), 54,75 e -4,76 em Farol de São Tomé (anos de 1967 a 2017 = 50 anos), 62,96 e -1,61 em Quissamã (anos de 1945 a 2017 = 72 anos) e 33,91 e 0,00 em São Francisco do Itabapoana (anos de 1972 a 2017 (45 anos). Observa-se ainda a linha de tendência negativa (linha em vermelho) indicando a redução do I_h ao longo desse período, com exceção de São Francisco do Itabapoana, que apresentou uma linha de tendência positiva, justificada pelos valores elevados do I_h nos dos anos de 2005 e 2008 e pela série histórica menor (45 anos).

Na Figura 2 são apresentados os gráficos dos valores da media anual (I2 meses) do Índice de Aridez (I_a) obtidos nas estações da região homogênea VI.

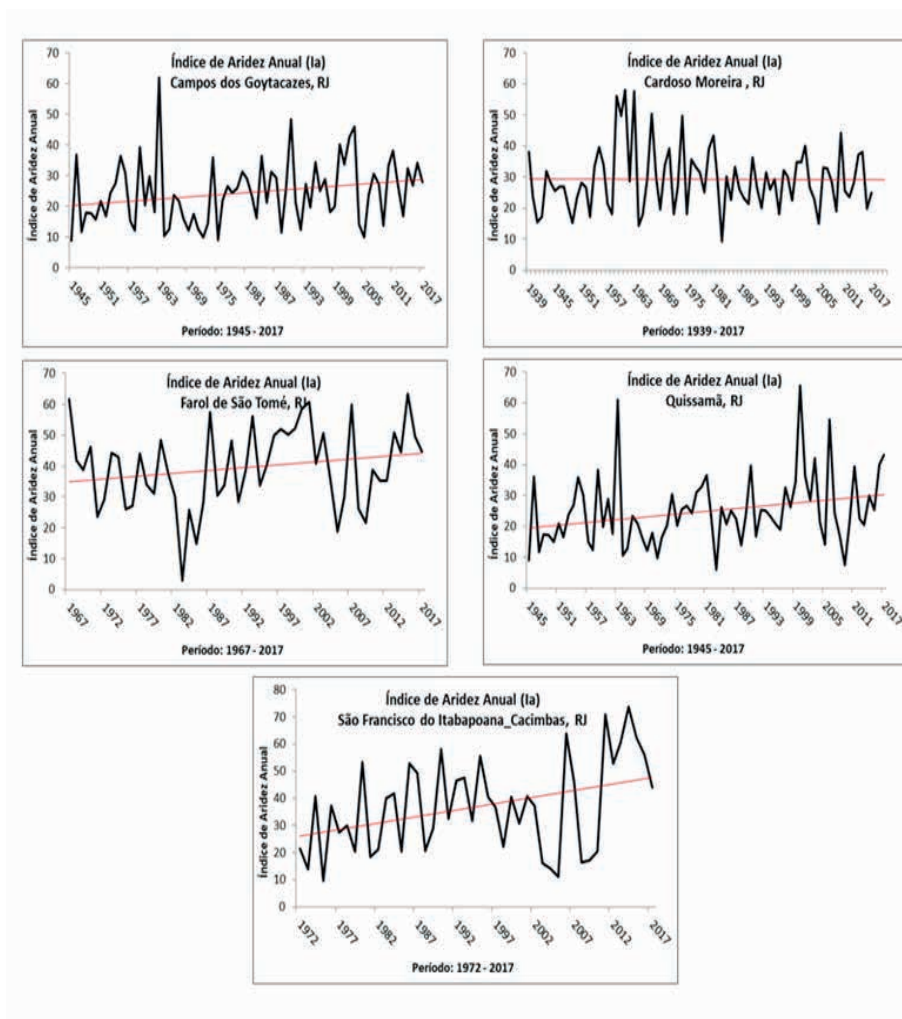


Figura 2: Evolução temporal dos valores dos índices de aridez (I_a) nas estações da região homogênea VI.

Na Figura 2 pode-se observar a variação dos valores médios anuais do Índice de

Aridez (Ia) durante o mesmo período das séries já reportados na Figura 1. O Ia variou entre o valor máximo de 61,88 e mínimo de 8,665 em Campos dos Goytacazes, 58,05 e 9,31 em Cardoso Moreira, 63,30 e 2,91 em Farol de São Tomé, 65,57 e 6,00 em Quissamã e 73,60 e 9,62 em São Francisco do Itabapoana. Observa-se ainda a linha de tendência positiva (linha em vermelho) indicando a elevação do índice de Aridez ao longo desse período, com menor intensidade em Cardoso Moreira, justificada pela menor variação na amplitude dos valores ao longo do período.

Na Figura 3 são apresentados os gráficos dos valores da media anual (12 meses) do Índice de Umidade (Iu) obtidos nas estações da região homogênea VI.

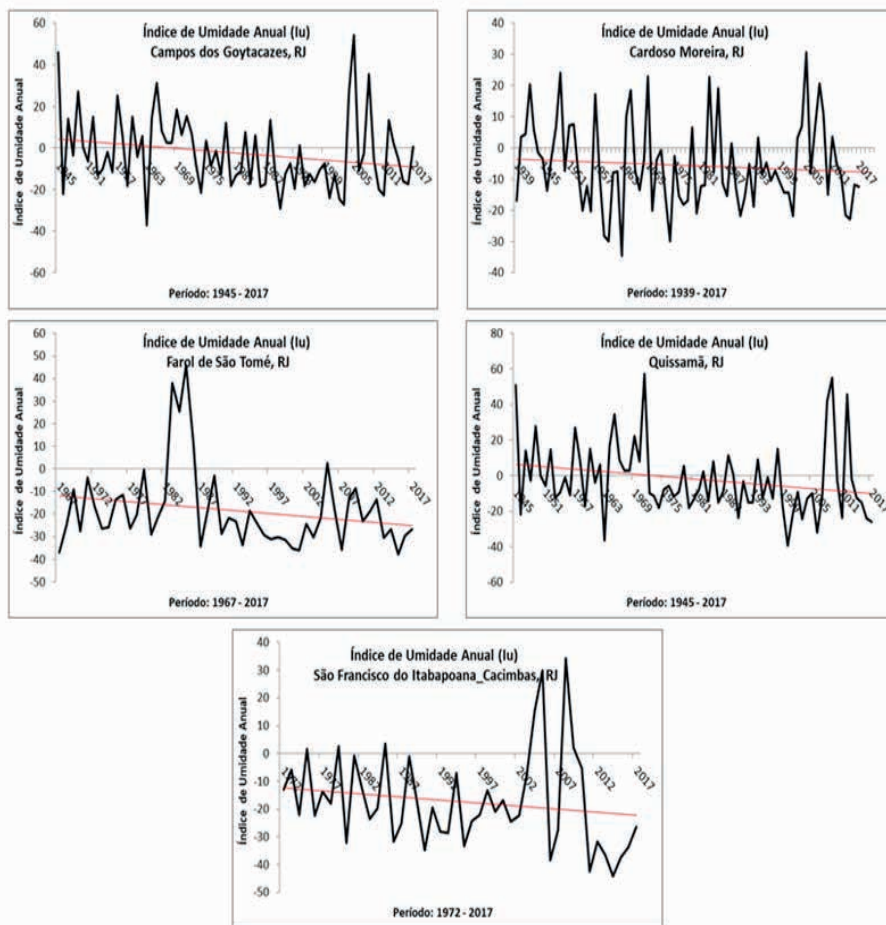


Figura 3: Evolução temporal dos valores dos índices de umidade (Iu) nas estações da região homogênea VI

Na Figura 3 pode-se observar a variação dos valores médios anuais do Índice de Umidade (Iu) durante o mesmo período das séries já reportados na Figura 1. Esse Índice

variou entre o valor máximo de 61,88 e mínimo de 8,665 em Campos dos Goytacazes, 58,05 e 9,31 em Cardoso Moreira, 63,30 e 2,91 em Farol de São Tomé, 65,57 e 6,00 em Quissamã e 73,60 e 9,62 em São Francisco do Itabapoana. Observa-se ainda a linha de tendência negativa (linha em vermelho) indicando a redução do Índice de Umidade ao longo desse período, em todos os municípios avaliados.

Na Figura 4 são apresentados os gráficos dos valores da media mensal do Índice Hídrico (Ih) obtidos nas estações da região homogênea VI.

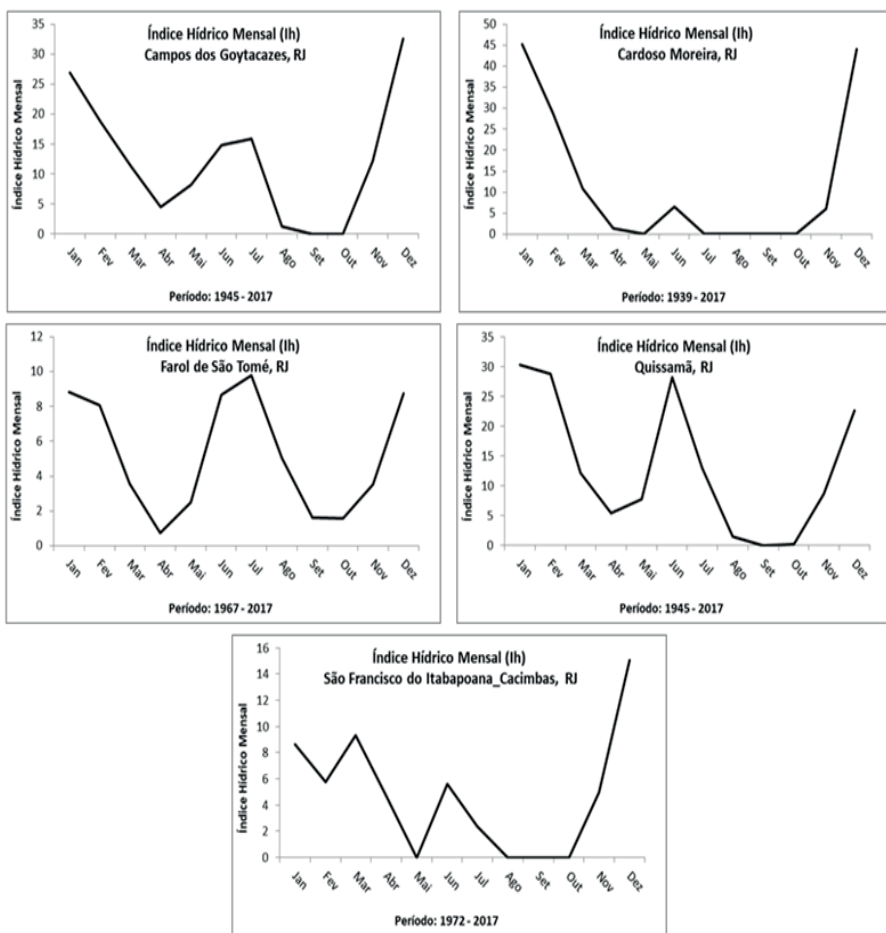


Figura 4: Média mensais do Índice Hídrico (Ih) obtidos nas estações da região homogênea VI.

Na Figura 4 pode-se observar a variação do Índice Hídrico (Ih) ao longo do ano. Percebe-se um decréscimo desse Índice até o mês de junho, quando ocorre uma ligeira elevação e posterior regressão, voltando a apresentar valores elevados após o mês de outubro. O comportamento dos dados de Campos dos Goytacazes, Farol de São Thomé

e Quissamã são bastante semelhantes, apesar dos valores apresentarem amplitude diferenciada (vide escala do eixo Y). Em Cardoso Moreira a elevação do Ih no período do inverno é bem inferior e os períodos de maiores e menores valores do Ih bem diferenciados. De forma diferenciada dos demais municípios, pode-se observar uma elevação do Ih no mês de março em São Francisco do Itabapoana.

Na Figura 5 são apresentados os gráficos dos valores da media mensal do Índice de Aridez (Ia) obtidos nas estações da região homogênea VI.

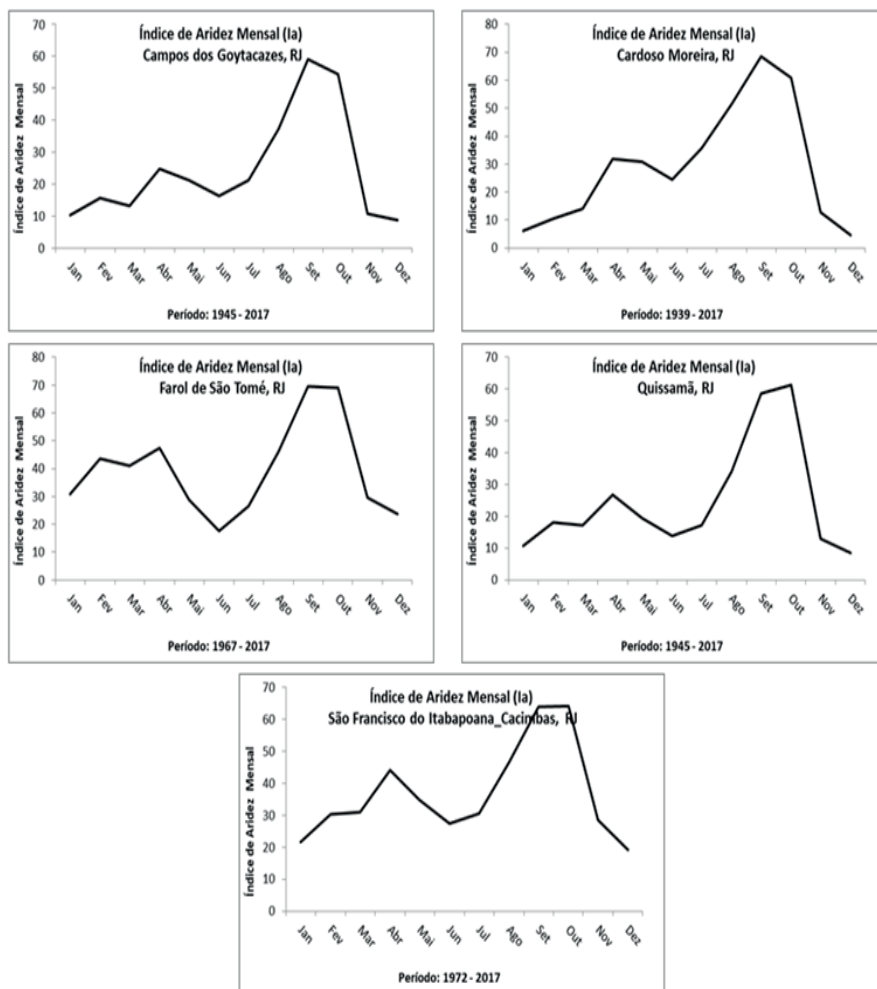


Figura 5: Média mensais do Índice de Aridez (Ia) obtidos nas estações da região homogênea VI.

Na Figura 5 pode-se observar a variação do Índice de Aridez (Ia) ao longo do ano. Percebe-se, dentro das diferentes séries uma maior elevação desse Índice nos meses de outono e primavera, consideradas estações de transições entre o verão e o inverno

e o inverno e o verão, respectivamente. A elevação desse Índice nesses meses está diretamente associada a redução da precipitação pluviométrica nesse período, quando climatologicamente deveriam ocorrer em maior volume na região avaliada

Na Figura 6 são apresentados os gráficos dos valores da média mensal do Índice de Umidade (Iu) obtidos nas estações da região homogênea VI.

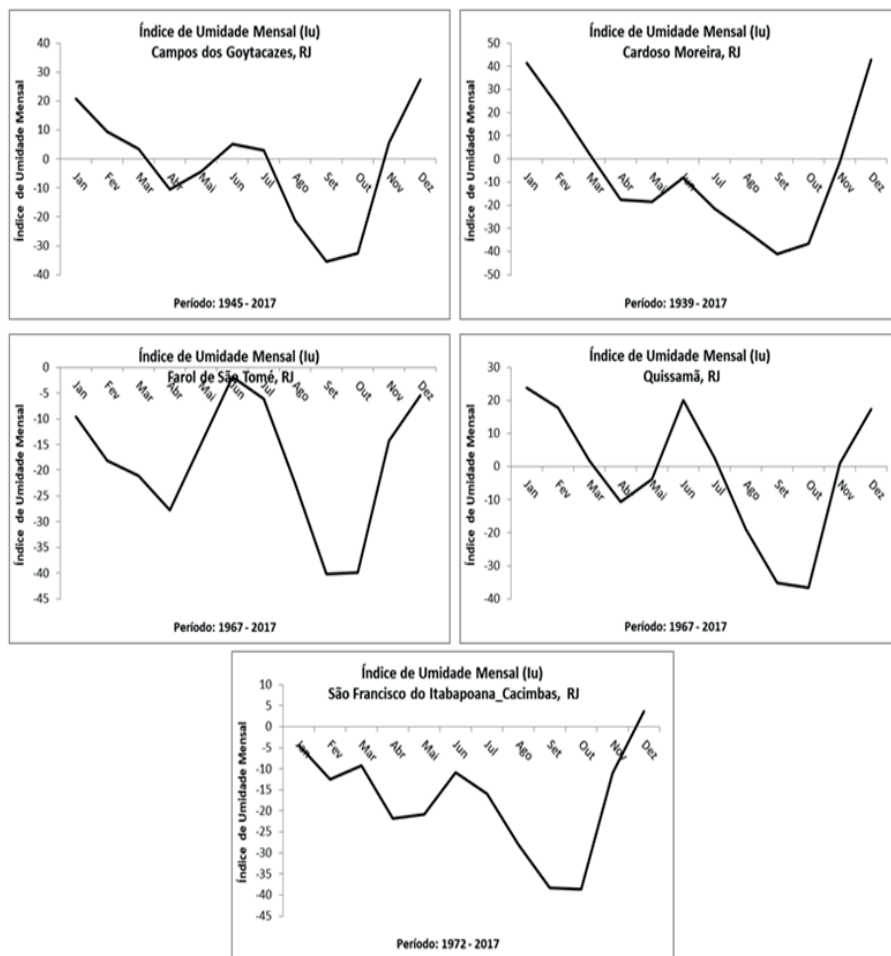


Figura 6: Média mensais do Índice de Umidade (Iu) obtidos nas estações da região homogênea VI.

Na Figura 6 pode-se observar a variação do Índice de Umidade (Iu) ao longo do ano. Percebe-se, dentro das diferentes séries uma menor elevação desse Índice nos meses de outono e primavera, consideradas estações de transições entre o verão e o inverno e o inverno e o verão, respectivamente. De forma oposta ao Índice de Aridez, a redução desse Índice nesses meses está diretamente associada a redução da precipitação pluviométrica nesse período, quando climatologicamente deveriam ocorrer em maior volume na região

avaliada.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios dos índices hídrico (Ih), de aridez (Ia) e de umidade (Iu) para todo o período avaliado obtidos nas estações da região homogênea VI.

Tabela 2: Valores médios dos índices hídrico (Ih), de aridez (Ia) e de umidade (Iu) para todo o período avaliado:

Índice/Local	Campos dos Goytacazes	Cardoso Moreira	Farol de São Tomé	Quissamã	SF Itabapoana (Cacimbas)
Índice Hídrico (Ih)	12,19	11,87	5,22	13,15	4,70
Índice de Aridez (Ia)	24,39	29,32	39,50	24,89	36,84
Índice de Umidade (Iu)	-2,45	-5,58	-18,51	-1,75	-17,31

Tabela 2: Valores médios dos índices hídrico (Ih), de aridez (Ia) e de umidade (Iu) para todo o período avaliado.

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região Norte Fluminense, RJ é classificado como Aw, isto é, clima tropical úmido, com verão chuvoso, inverno seco e temperatura do mês mais frio superior a 18° C. Aw é denominado clima de savana, com inverno seco e chuvas máximas no verão, presentes nas regiões Norte, Centro Oeste e parte da região Sudeste.

Já os tipos climáticos segundo Thornthwaite baseados nos índices hídrico (Ih), de aridez (Ia) e de umidade (Iu) são classificados segundo a Tabela 2, da seguinte forma:

Tipo Climático	Índice de Umidade (Iu)
Superúmido	$Iu > 100$
B4 – Úmido	$80 \leq Iu < 100$
B3 – Úmido	$60 \leq Iu < 80$
B2 – Úmido	$40 \leq Iu < 60$
B1 – Úmido	$20 \leq Iu < 40$
C2 - Subúmido	$0 \leq Iu < 20$
C1 – Subúmido seco	$- 20 \leq Iu < 0$
D – Semi-árido	$- 40 \leq Iu < - 20$
E – Árido	$- 60 \leq Iu < - 40$

Tipo Climático	Índice de Aridez (Ia)
r – Deficiência de água pequena ou nula	$0 \leq Ia < 16,7$
s – Deficiência de água moderada no verão	$16,7 \leq Ia < 33,3$
w – Deficiência de água moderada no inverno	$16,7 \leq Ia < 33,3$
s2 – Grande Deficiência de água moderada no verão	$Ia \geq 33,3$
w2 – Grande Deficiência de água moderada no inverno	$Ia \geq 33,3$
Tipo Climático	Índice de Hídrico (Ih)

Para climas secos (C1 , D e E)	
r – Excesso de água pequeno ou nulo	$0 \leq lh < 10$
s – Excesso de água moderado no verão	$10 \leq lh < 20$
w – Excesso de água moderado no inverno	$10 \leq lh < 20$
s2 – Grande excesso de água no verão	$lh \geq 20$
w2 – Grande excesso de água no inverno	$lh \geq 20$

Tabela 3: Valores médios dos índices umidade (lu), de aridez (la) e hídrico (lh) segundo Thornthwaite (1948)

Os tipos climáticos para os municípios avaliados são apresentados na Tabela 4:

Índice/ Local	Campos dos Goytacazes	Cardoso Moreira	Farol de São Tomé	Quissamã	SF Itabapoana (Cacimbas)
Índice de Umidade (lu)	-2,45 C1 – Subúmido seco $-20 \leq lu < 0$	-5,58 C1 – Subúmido seco $-20 \leq lu < 0$	-18,51 C1 – Subúmido seco $-20 \leq lu < 0$	-1,75 C1 – Subúmido seco $-20 \leq lu < 0$	-17,31 C1 – Subúmido seco $-20 \leq lu < 0$
Índice de Aridez (la)	24,39 Deficiência de água moderada no verão (s) e no inverno (w) $16,7 \leq la < 33,3$	29,32 Deficiência de água moderada no verão (s) e no inverno (w) $16,7 \leq la < 33,3$	39,50 Grande deficiência de água no verão (s2) e no inverno (w2) $la > 33,3$	24,89 Deficiência de água moderada no verão (s) e no inverno (w) $16,7 \leq la < 33,3$	36,84 Grande deficiência de água no verão (s2) e no inverno (w2) $la > 33,3$
Índice Hídrico (lh)	12,19 Excesso de água moderado no verão (s) e no inverno (w) $10 \leq lh < 20$	11,87 Excesso de água moderado no verão (s) e no inverno (w) $10 \leq lh < 20$	5,22 Excesso de água pequeno ou nulo $0 \leq lh < 10$ (d)	13,15 Excesso de água moderado no verão (s) e no inverno (w) $10 \leq lh < 20$	4,70 Excesso de água pequeno ou nulo $0 \leq lh < 10$ (d)

Observando a Tabela 6 pode-se perceber que os tipos climáticos das áreas analisadas, pelos valores médios dos Índices de Umidade obtidos são do tipo C1 – Subúmido Seco (valores $-20 \leq lu < 0$); Os índices de Aridez (la) indicam “Deficiência de água moderada no verão (s) e no inverno (w)”, com valores entre 16,7 e $< 33,3$ para os municípios de Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira e Quissamã e “Grande deficiência de água no verão (s2) e no inverno (w2), com valores de $la > 33,3$ para Farol de São Tomé e São Francisco do Itabapoana, observando que os valores dos Índices de Aridez para os três primeiros municípios estão bem próximos do limite máximo e que os Índices Hídricos indicam “Excesso de água moderado no verão (s) e no inverno (w)” ($10 \leq lh < 20$) para as localidades de Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira e Quissamã e “Excesso de água pequeno ou nulo” ($0 \leq lh < 10$) para Farol de São Tomé e São Francisco do Itabapoana

(d), ressaltando que os valores observados para os três primeiras localidades estão muito próximos do limite mínimo.

4 | CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos no presente trabalhos pode-se concluir que:

1. Os valores médios obtidos do Índice Hídrico foram: 12,19, 11,87, 5,22, 13,15 e 4,7; do Índice de Aridez: 24,39, 29,32, 39,32, 39,50, 24,89 e 36,84 e do Índice de Umidade: -2,45, -5,58, -18,51, -1,75 e -17,31, respectivamente para Campos dos Goytacazes, Cardoso Moreira, Farol de São Tomé, Quissamã e São Francisco do Itabapoana_Cacimbas.
2. Os meses mais secos nos municípios analisados foram junho/julho/agosto e os mais úmidos, novembro/dezembro/janeiro;
3. Em termos médios, as localidades avaliadas apresentam-se com características de regiões subúmidas secas;
4. As localidades avaliadas mostraram que por meio desta análise, uma tendência de elevação do Índice de Aridez (Ia) e conseqüentemente redução dos Índices de Umidade (Iu) e Hídrico (Ih).

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a Servidora Andreлина Laura dos Santos, da Coordenação de Dados e Informações Hidrometeorológicas – CODIH / Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica - SGH, da Agência Nacional de Águas – ANA, pelo envio dos dados utilizados nesse trabalho.

REFERÊNCIAS

ANDRÉ, R.G.B, MARQUES, V.S., PINHEIRO, F.M., FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões homogêneas no estado do Rio de Janeiro utilizando-se valores mensais. Revista Brasileira de Meteorologia, v.23 n.4, 501-509, 2008.

MARQUES, V.S., ANDRÉ, R.G.B. SUCHAROV, E.C., PINHEIRO, F.M. Possíveis modificações na classificação climática das regiões norte e noroeste do estado do rio de janeiro. Relatório técnico. TECNORTE. 2001, 15 p.

PENMAN, H. L. The physical bases of irrigation control. In: Hort. Congr., 2, London, Royal Horticultural Society, 1953, p.913-924. 1110 p

SENTELHAS, P.C., et al. Balanços Hídricos Climatológicos do Brasil. ESALQ/USP – Piracicaba – SP, 2000 – CD-ROM.

SUCHAROV, E.C., MARQUES, V.S., ANDRÉ, R.G.B., MATORANO, L.G.. Estimativas das temperaturas médias mensais e anuais para o Estado do Rio de Janeiro. Relato pessoal (2009)

THORNTHWAITE, C.W. Atlas of climatic types in the United States. Mixed Publication, 421, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 1941. 250 p.

THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. Geographical Review, London, n.38, p.55-94, 1948

THORNTHWAITE, C.W.& MATHER, J.R. The water balance. Publications in Climatology. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 104 p., 1955.

VIANELLO, R. L. & ALVES A. R. Meteorologia básica e aplicações – Viçosa, UFV, Imprensa Universitária. 449 p, 1991

XAVIER, M. C. A.; PAIVA, C. M.; ALVES, G. S.: Classificação e índice de mudança climática em Itaperuna, RJ. Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro, 2000.