



Caracterização ombrotérmica da bacia hidrográfica do rio São Francisco e indicativos de mudanças climáticas de curto prazo

Junia Kacenenbogen Guimarães^(a), Leidyane Sampaio Bispo^(b), Adeylan Nascimento Santos^(c)

^(a) Departamento de Geografia/Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, E-mail: juniakg@gmail.com

^(b) Departamento de Geografia/Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, E-mail: leidyanebispo@outlook.com

^(c) Escola de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia da Informação/Faculdade Salvador. E-mail: adeylan.santos@gmail.com

Eixo: Climatologia em diferentes níveis escalares: mudanças e variabilidades

Resumo

A dinâmica climática da bacia hidrográfica do rio São Francisco é muito importante para os diversos usos que nela se realizam. Neste trabalho foram estudadas séries históricas de precipitação e temperatura média compensada de dezoito estações distribuídas na bacia. Com base nos dados climatológicos analisados, a bacia foi dividida em cinco setores com diferentes características climatológicas. Também foram ajustadas retas de tendência às séries históricas de temperatura média compensada anual e precipitação total anual. Observou-se uma tendência de aumento de temperatura, em taxas que variaram de 0,009°C/ano, na região mais a leste da bacia, a 0,039°C/ano, na região mais interiorana. No que diz respeito à precipitação, esta apresentou tendências de redução em quase toda a bacia, com taxas que variaram de -4,5 mm/ano a -13,5mm/ano, exceto no seu setor mais meridional, no qual houve aumento de precipitação, com taxa média de 0,16 mm/ano.

Palavras chave: rio São Francisco, precipitação, temperatura, mudanças climáticas.

1. Introdução

A rede hidrográfica do rio São Francisco drena uma área de 639.219 km², equivalente a 7,5% do território brasileiro. O rio São Francisco, com 2.700 km de extensão, nasce no Estado de Minas Gerais, fluindo para o Estado da Bahia, seguindo na sua divisa com o Estado de Pernambuco antes de alcançar a divisa dos Estados de Sergipe e Alagoas, e finalmente desaguar no Oceano Atlântico. A bacia ocupa também áreas do Estado de Goiás e do Distrito Federal (CBHSF, 2016) (Figura 1).

O rio tem um papel indispensável para a sócio-economia da bacia, que suporta centros urbanos importantes, polos agrícolas irrigados, populações residentes em área semi-árida, pescadores ribeirinhos (CBHSF, 2016), além de garantir o fornecimento de 10.473MW de energia elétrica, por meio das usinas hidroelétricas presentes no rio (ANA, 2016).

O conhecimento das condições climáticas da bacia e de suas mudanças ao longo do tempo é indispensável para a compreensão da dinâmica da vazão fluvial do rio, que tem consequência tanto para os usos



econômicos da água como para a dinâmica do canal fluvial e da planície de inundação do rio, tanto ao longo do seu curso como em sua foz.

Por essa razão, esse trabalho visou caracterizar a bacia hidrográfica do rio São Francisco quanto às suas características ombro-térmicas, bem como reconhecer mudanças de curto prazo nos valores médios mensais de temperatura e precipitação.

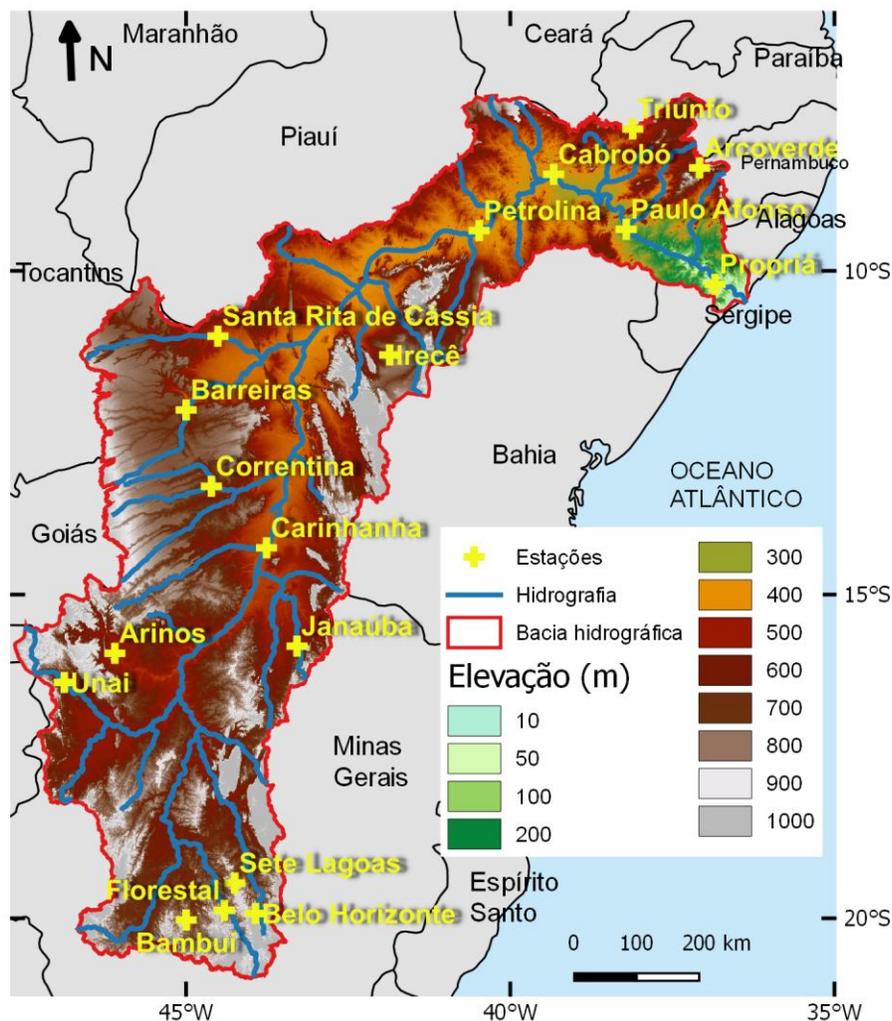


Figura 1. Bacia Hidrográfica do rio São Francisco com hipsometria em metros (modificada de EMBRAPA, 2017) e estações analisadas neste trabalho.

2. Metodologia

O presente trabalho baseou-se na análise dos dados mensais históricos de dezoito estações distribuídas na bacia hidrográfica (Figura 1). Os dados fazem parte do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e



Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). As séries de dados foram analisadas desde o ano inicial disponibilizado, que variou entre 1961 e 1979 conforme a estação, até o mês de dezembro de 2015, resultando em séries de 36 a 54 anos de duração.

Para a caracterização ombrotérmica, foram calculadas as médias mensais dos valores de temperatura média compensada (T_{mc}) e precipitação de toda a série histórica disponível. Os meses com ausência de dados não foram considerados nas médias. A partir das médias calculadas foi confeccionado para cada estação um diagrama ombrotérmico, que permitiu uma fácil visualização da variação das condições de temperatura, precipitação e do estresse hídrico ao longo do ano. Em seguida, com base nas informações climáticas obtidas, a bacia foi dividida em setores com diferentes padrões climáticos.

Para a análise das mudanças ao longo dos anos da média anual da T_{mc} e de precipitação total anual, ajustou-se uma reta de tendência a estes dados que foram obtidos, no primeiro caso, por média dos dados mensais para cada ano da série; e no segundo, pela soma dos dados mensais de cada ano da série. Os anos com séries incompletas não foram considerados na análise.

3. Caracterização ombrotérmica da bacia hidrográfica do rio São Francisco

A bacia hidrográfica do rio São Francisco divide-se quanto às suas características ombrotérmicas em cinco setores (Figura 2 e Tabela I), descritos, das porções mais à montante até a jusante da bacia, como segue.

O primeiro setor, que contém as estações de Bambuí, Florestal, Belo Horizonte e Sete Lagoas, localiza-se na região mais alta da bacia, nos altos cursos dos rios da Velha, Paraopeba e Pará, nos domínios da parte sul da Serra do Espinhaço e das Serras das Vertentes e da Galga, com altitudes acima de 900m, no Estado de Minas Gerais. O setor está no domínio das florestas estacionais semi-decíduais (EMBRAPA, 2013).

Caracteriza-se por apresentar em média T_{mc} de 21°C, com mês mais frio com temperatura de 17°C e mês mais quente com 23°C. Apresenta precipitações anuais em torno de 1.400 mm, com período chuvoso no verão (mês mais chuvoso em dezembro) e período seco, com duração média de 4 meses, no inverno.

Segundo a classificação de Mendonça e Danni-Oliveira (2007) se enquadra no tipo climático “tropical úmido-seco” com 4 a 5 meses secos. A pluviosidade no verão está associada à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que corresponde a uma faixa noroeste-sudeste de nebulosidade e precipitação que se estende da Amazônia até o Oceano Atlântico subtropical, passando pelo sudeste do Brasil (CARVALHO e JONES, 2009).



O segundo setor, que contém as estações de Arinos e Unaí, se localiza em toda a região oeste da bacia hidrográfica, contendo a nascente do rio São Francisco, bem como as nascentes de muitos de seus afluentes da margem esquerda, como os rios Preto, Pardo, Carinhanha, Formoso, Correntina e Grande; ocupando os domínios das Serras da Canastra, dos Pilões, da Aldeia e do Espigão Mestre, apresentando elevação superior a 500 m. Todo o setor está contido no bioma do cerrado.

Caracteriza-se por apresentar Tmc de 25°C, com mês mais frio com 22°C e mês mais quente com 27°C. Apresenta precipitação anual média em torno de 1.200 mm, concentrada no verão, com mês mais chuvoso em dezembro; e período seco de 5 meses no inverno.

Segundo a classificação de Mendonça e Danni-Oliveira (2007) se enquadra também no tipo climático “tropical úmido-seco” com 4 a 5 meses secos. Contudo trata-se de um setor com menos pluviosidade e maior período seco do que o setor I, o que se evidencia pelas diferentes formações vegetais desses setores. Enquanto no setor II predomina a vegetação de cerrado (savana), que é tipicamente xerofítica, no setor I o predomínio é das florestas estacionais semi-decíduais, que representam um estágio de transição entre climas úmidos e áridos (IBGE, 2012).

O terceiro setor, que contém as estações, ordenadas da montante à jusante, de Janaúba, Carinhanha, Correntina, Barreiras e Santa Rita de Cássia, localiza-se na região central da bacia próximo às margens do rio São Francisco ou no baixo curso de seus afluentes, com altitudes sempre maiores que 400m, porém significativamente mais baixa do que os outros dois setores (exceto no trecho dominado pela Chapada Diamantina situada na parte leste do setor, onde as altitudes podem alcançar mais de 1200m)¹. Trata-se de um setor com domínio de floresta estacional decidual na sua parte oeste e caatinga na parte leste.

Este setor caracteriza-se por apresentar Tmc de 24°C, com mês mais frio com 22°C e mês mais quente com 26°C. A precipitação anual está em torno de 850 mm, concentrada no verão, com mês mais chuvoso em dezembro. O período seco, no inverno, dura de 5 a 7 meses, conforme a estação.

Segundo a classificação de Mendonça e Danni-Oliveira (2007) se enquadra no tipo climático “tropical úmido-seco” com 6 a 8 meses secos. Trata-se, do ponto de vista climático, de uma transição entre o clima tropical úmido-seco (dominado pelo bioma do cerrado) e o clima tropical-equatorial (dominado pela caatinga). Contudo, do ponto de vista biogeográfico, é dominado pela floresta estacional decidual, que em geral, localiza-se na transição entre a savana e/ou caatinga com florestas mais úmidas. É possível que a posição relativamente mais baixa em relação ao entorno desse setor e a proximidade aos cursos fluviais expliquem a presença dessa formação florestal, a despeito do rigor climático.

¹ Por termos estudado apenas uma estação (Irecê) nos domínios da Chapada Diamantina, não foi possível diferenciá-la em um setor a parte, muito embora ocorram diferenças climáticas significativas nessa região.

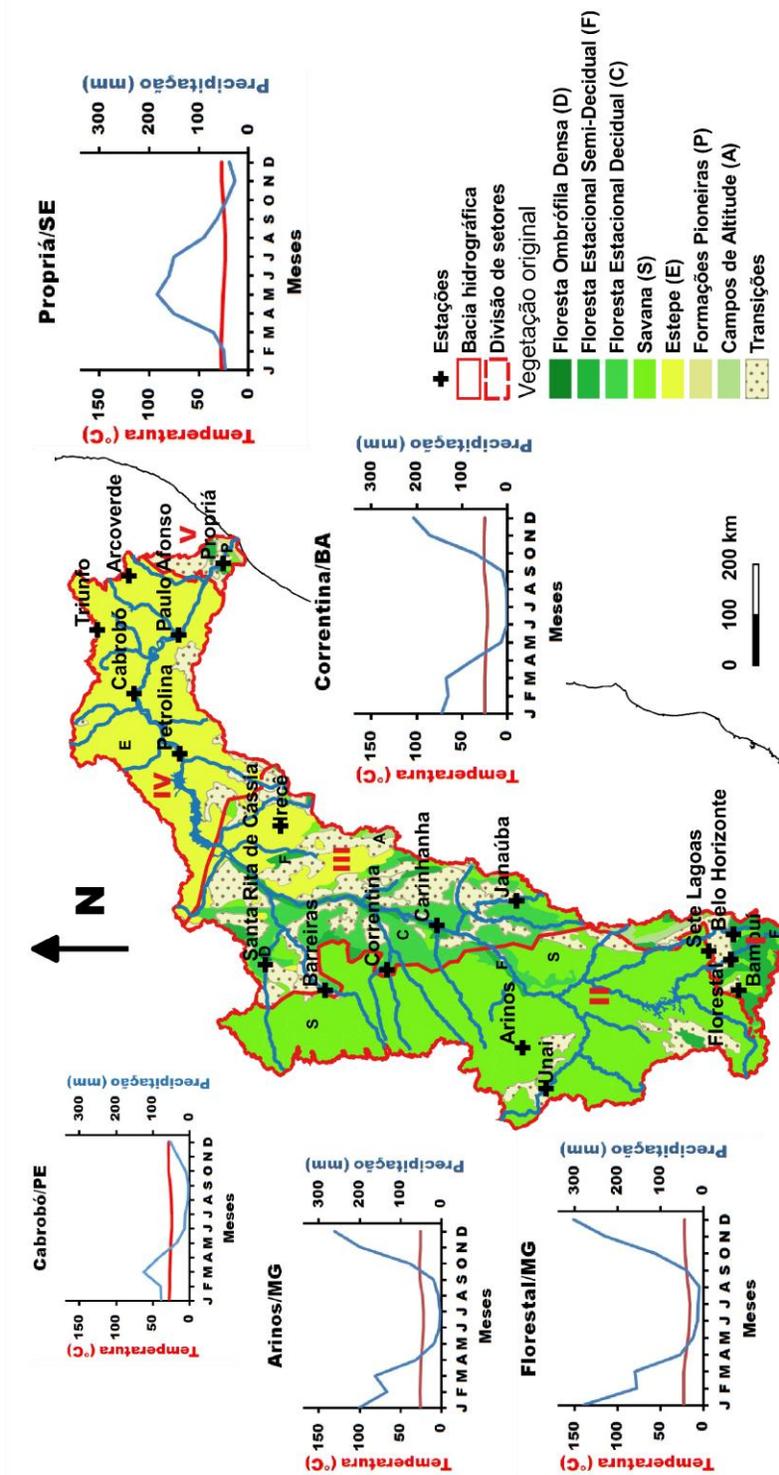


Figura 2. Setores ombro-térmicos identificados na bacia hidrográfica do rio São Francisco, com vegetação original (modificado de EMBRAPA, 2013) ao fundo.



Tabela I- Dados climatológicos das estações estudadas, divididas por setores.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Tmc média anual (°C)	Tmc - mês mais frio (°C)	Tmc - mês mais quente (°C)	Amplitude térmica anual (°C)	Precipitação anual (mm)	Duração período seco (meses)	Mês mais Chuvoso	Coefficiente angular da reta de tendência de precipitação (mm/ano)	Coefficiente angular da reta de tendência de temperatura (°C/ano)
Setor I												
Bambuí	-20,30	-45,00	661,27	20,76	16,42	23,41	6,99	1432,29	3	dezembro	1,8627	0,021
Belo Horizonte	-19,93	-43,93	915,00	21,58	18,75	23,55	4,80	1524,97	4	dezembro	3,1483	0,0279
Florestal	-19,88	-44,41	760,00	20,02	15,67	22,70	7,03	1387,10	5	dezembro	-3,5102	0,0223
Sete Lagoas	-19,46	-44,25	732,00	21,28	18,00	23,27	5,28	1299,34	5	dezembro	-0,8402	0,0254
Média	-	-	-	20,91	17,21	23,23	6,03	1410,92	4,3	-	0,1652	0,0242
Setor II												
Aírios	-15,91	-46,10	519,00	24,86	22,01	27,13	5,12	1151,07	5	dezembro	-10,289	0,0406
Unai	-16,36	-46,88	460,00	24,32	21,36	26,59	5,23	1326,46	5	dezembro	-4,8748	0,0388
Média	-	-	-	24,59	21,69	26,86	5,18	1238,77	5,0	-	-7,5819	0,0397
Setor III												
Barreiras	-12,15	-45,00	439,29	24,68	23,25	26,27	3,02	1042,83	5	dezembro	-4,8279	0,0392
Carinhanha	-14,28	-43,76	450,18	25,57	23,26	27,57	4,31	775,32	7	dezembro	-3,7027	0,0229
Correntina	-13,33	-44,61	549,47	24,10	21,81	26,49	3,68	965,58	5	dezembro	-12,732	-0,0305
Irecê	-11,30	-41,86	747,16	23,34	20,98	24,74	3,76	592,18	6	dezembro	-5,2114	0,0356
Janaúba	-15,80	-43,29	516,00	24,93	22,64	26,53	3,89	762,02	7	dezembro	-5,8484	0,009
Santa Rita de Cássia	-11,01	-44,51	450,30	23,82	22,77	27,42	4,65	967,65	5	dezembro	-1,487	0,0362
Média	-	-	-	24,41	22,45	26,34	3,89	850,93	5,8	-	-5,6349	0,0187
Setor IV												
Arcoverde	-8,41	-37,08	680,7	23,20	20,33	25,10	4,77	656,96	4	abril	-5,0332	0,0257
Cabrobó	-8,51	-39,33	341,46	26,53	23,97	28,74	4,77	526,05	8	março	-4,0252	0,0321
Paulo Afonso	-9,36	-38,21	252,69	25,92	22,75	27,73	4,98	533,68	6	março	-4,4784	0,0137
Petrolina	-9,38	-40,48	370,46	23,60	24,36	28,50	4,14	478,24	8	março	-4,3702	0,0239
Triunfo	-7,81	-38,11	1105,00	21,24	18,44	23,27	4,83	1214,71	3	março	-4,2623	0,0093
Média*	-	-	-	24,81	22,85	27,52	4,67	548,73	6,5	-	-4,4770	0,0239
Setor V												
Propriá	-10,21	-36,84	19,92	25,80	23,34	27,56	4,22	1077,63	5	maio	-13,522	0,0091

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia.

*As médias foram calculadas excluindo a estação de Triunfo.

O quarto setor, que contém as estações de Petrolina, Cabrobó, Triunfo, Arcoverde e Paulo Afonso, situa-se em todo sub-médio e parte do baixo São Francisco, com altitudes variando em torno de 100 a 800m. Trata-se do compartimento da bacia que drena o semi-árido, sendo dominado pelo bioma da caatinga.

Caracteriza-se por apresentar Tmc de 25°C, com mês mais frio com 23°C e mês mais quente com 28°C. A precipitação total anual está em torno de 550 mm. As chuvas concentram-se no outono, com mês mais chuvoso em março. O período seco dura de 4 a 8 meses, conforme a localidade.

Mesmo no mês mais chuvoso, as chuvas não excedem 130 mm, contrastando com outros setores analisados, que alcançam facilmente mais de 200 mm, nos setores II e III, e mais de 300mm, no setor I.

Segundo a classificação de Mendonça e Danni-Oliveira (2007) esse setor se enquadra no tipo climático “tropical-equatorial”.

A estação de Triunfo se destaca das demais desse setor, por localizar-se na Serra dos Cariris Velhos, a 1.105 m de altitude, nos divisores ao norte da bacia hidrográfica. Por essa razão, apresenta precipitação total anual de cerca de 1.200 mm e período seco de apenas 3 meses. Além disso, apresenta mês mais chuvoso, também em março, com cerca de 200 mm de pluviosidade.

A precipitação nesse setor é controlada principalmente pela posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que no mês de março se encontra na sua posição mais ao Sul, alcançando esse setor e trazendo chuvas para a região.

O quinto setor compreende apenas a estação de Propriá. Ocorre na região mais a jusante da bacia, em seu baixo curso. Nesse setor a elevação não excede 500 m, alcançando o nível do mar na foz do rio.

Caracteriza-se por apresentar Tmc de 26°C, com mês mais frio com 23°C e mês mais quente, 28°C. A precipitação total anual é de cerca de 1.100mm, com período chuvoso no outono e no inverno. O mês mais chuvoso ocorre em maio com cerca de 180 mm de chuva. O período seco, de cinco meses, ocorre na primavera e no verão.

Segundo a classificação de Mendonça e Danni-Oliveira (2007) esse setor se enquadra no tipo climático “tropical litorâneo do Nordeste oriental”. Trata-se de um tipo climático muito característico que domina toda a região leste do nordeste brasileiro, e que se caracteriza pela concentração das chuvas no inverno, controladas sobretudo pelo ingresso de frentes frias, associadas ao deslocamento da massa Polar Atlântica, e por perturbações de leste que geram instabilidade próxima ao litoral (NIMER, 1989).

4. Tendências nos dados de precipitação e temperatura média compensada na bacia hidrográfica do rio São Francisco

O ajuste das retas de tendências aos dados anuais de precipitação total e Tmc, por setor, estão representadas na Figura 3; e os coeficientes angulares das retas estão apresentados na Tabela I.

No que diz respeito aos dados de temperatura, todos os setores apresentaram uma tendência de aumento de temperatura. Essa tendência foi mais acentuada na região oeste da bacia (no setor II), que é também a mais interiorana, e menor na região leste dela (setor V), com taxas de 3,9°C/100 anos e 0,9°C/100 anos, respectivamente.

No que diz respeito aos dados de precipitação, todos os setores, exceto o I, apresentaram tendência negativa de precipitação. No caso do setor I, duas estações apresentaram tendência negativa e outras duas, tendência positiva. As taxas variaram de 0,16 mm/ano (setor I) a -13,5 mm/ano (setor V).

Há uma redução de precipitação em toda a região central e norte da bacia hidrográfica e que, portanto, parece estar associada a diferentes sistemas produtores de chuva: a ZCAS que atua nos setores II e III, que apresentaram taxas de -7,6 mm/ano e -5,6 mm/ano, respectivamente; a ZCIT que atua no setor IV, que apresenta taxa de -4,5 mm/ano; e o avanço de sistemas frontais e ou distúrbios de leste que atuam no setor V, que apresentou taxa de -13,5mm/ano. O setor I, que foi o único que não apresentou tendência clara quanto à precipitação, localiza-se no setor mais ao sul da bacia, que tem sua precipitação controlada pela ZCAS, porém, certamente com uma contribuição maior do avanço de massas de ar úmidas (Tropical Atlântica e Polar Atlântica) provenientes do Oceano Atlântico Sul.

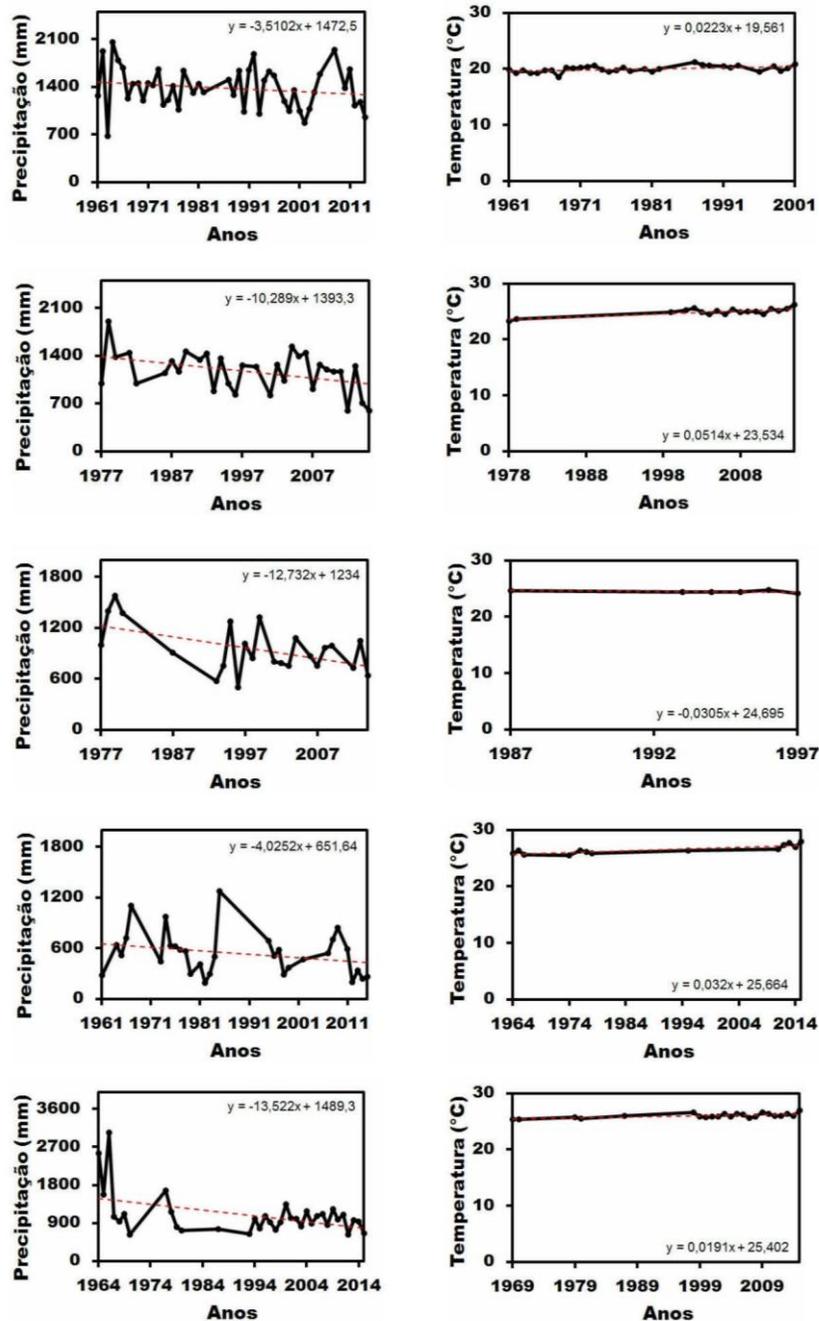


Figura 3. Variação da precipitação total anual (gráficos da esquerda) e da temperatura média compensada (gráficos da direita) ao longo do período de tempo estudado, por setor. Aos gráficos ajustou-se uma reta de tendência (em vermelho tracejado), cuja equação está representada na área do gráfico. Estão representados para o setor I dados da estação Florestal/MG; para o setor II, dados da estação Arinos/MG; para o setor III, dados da estação Correntina/BA; para o setor IV, dados da estação Cabrobó/PE; e para o setor V, dados da estação de Propriá/SE.

5. Discussão

Os resultados encontrados nesse trabalho estão dentro da mesma ordem de grandeza de outros trabalhos, como aqueles sistematizados no quinto relatório do Painel Intergovernamental de Mudanças no Clima (IPCC, 2014), mas com resultados nem sempre semelhantes.

O IPCC (2014) identificou de maneira geral, em estudos de dados pretéritos, tendências de aquecimento na América do Sul de 1,75°C/100 anos a 2,5°C/100 anos. Neste trabalho foram encontrados valores tanto menores (no setor V), como maiores do que esse (setor II). As diferenças não surpreendem dada a carência de trabalhos específicos e em uma escala de maior detalhe que embasam o relatório.

A mesma carência se nota no que diz respeito à precipitação. Para o sudeste da América do Sul, o IPCC (2014) identificou aumento na precipitação, tal como foi encontrado neste trabalho para o setor I. No que diz respeito ao nordeste brasileiro, os dados disponibilizados no relatório, como os de Santos et al. (2009) e Santos e Brito (2007), referem-se aos estados do Ceará, Rio Grande do Norte e Paraíba, e portanto em situação geográfica ao norte da área de estudo deste trabalho. Considerando que os Estados mencionados têm a sua pluviosidade controlada pelo deslocamento da ZCIT, tal como ocorre no nosso setor IV, chama a atenção que nesses trabalhos tenha se verificado um aumento de precipitação, enquanto no referido setor verificou-se uma redução dela. Tal discrepância de dados pode estar associada a um menor deslocamento da ZCIT para Sul, mantendo-se este cavado sobre os referidos estados mais ao norte, sem alcançar a bacia hidrográfica do rio São Francisco.

Essa e diversas outras hipóteses poderiam ser aventadas para explicar os padrões encontrados, o que requer, contudo, estudos mais detalhados.

Embora a série de dados seja curta, não se podendo ser assertivo quanto à permanência das alterações verificadas, nem tão pouco se a mesma está associada a um ciclo climático específico, é certo que para o período considerado as mudanças podem ser consideradas relevantes, sendo possível alertar inclusive para possíveis tendências de redução de vazão do rio São Francisco associadas à redução de precipitação verificada, que como visto, ocorreu em quase toda a bacia (mais de 95% de sua área), exceto no extremo sul da mesma.



6. Referências

- ANA. **Região Hidrográfica do São Francisco.** Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/SaoFrancisco.aspx>. Acesso em: 21/12/2016.
- CARVALHO, L.M.V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: In: CAVALCANTI, I.F.A.; FERREIRA, N.J.; SILVA, M.G.A.J.; DIAS, M.A.F.S. **Tempo e Clima no Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 95-110.
- CBHSF. **A Bacia.** Disponível em: <http://cbhsaofrancisco.org.br/a-bacia/>. Acesso em: 21/12/2016.
- EMBRAPA. **Brasil em relevo.** Disponível em: <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/index.htm>. Acesso em: 07/01/2017.
- EMBRAPA. Monitoramento por Satélite. **Mapa de Cobertura Vegetal do Brasil.** – CNPM. Disponível em: <http://www.cobveget.cnpm.embrapa.br/>. Acessado em: 08/08/2013>.
- IBGE. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira.** 2ª Edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- IPCC. Chapter 27: Central and South America. In: IPCC. **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part B: Regional Aspects.** IPCC, 2014, p. 1499-1566. Disponível em: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap27_FINAL.pdf. Acesso em: 14/02/2017.
- MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I.M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- NIMER, E. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1989.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semi-árido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n.3, p. 303-312, 2007.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T.V.R; MENEZES, H.E.A. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.1, 39-47, 2009.