

RELAÇÃO ENTRE PRECIPITAÇÃO E TURBIDEZ EM CURSOS D'ÁGUA NO ESPÍRITO SANTO

Pedro Henrique Silva Penedo

Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA
Vitória, ES, Brasil
pedrohspenedo@gmail.com

Giovanni de Oliveira Garcia

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Departamento de Engenharia Rural, Alegre, ES, Brasil
giovanni.garcia@ufes.br

Roberto Avelino Cecílio

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil
roberto.cecilio@ufes.br

Sidney Sara Zanetti

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil
sidney.zanetti@ufes.br

Mariza Pereira de Oliveira Roza

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES
Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais, Jerônimo Monteiro, ES, Brasil
mariza.p.o@hotmail.com

RESUMO

A água é um recurso natural insubstituível para a manutenção da vida na Terra. Para o consumo humano, a depreciação de sua qualidade pode ter consequências diversas no abastecimento público. Sendo assim, objetivou-se relacionar a turbidez com a precipitação de 50 bacias hidrográficas cujos mananciais são utilizados para abastecimento público no Estado do Espírito Santo. Foram selecionados 50 pontos de adução de água bruta empregada no tratamento e fornecimento à rede de abastecimento público, utilizando-se suas médias mensais de turbidez de 48 meses, de 2006 a 2008. As bacias hidrográficas foram delimitadas com a utilização de um modelo digital de elevação hidrologicamente consistido, obtido em ambiente SIG. Os dados de precipitação foram espacializados utilizando a técnica geoestatística krigagem ordinária. Foi realizada a análise de regressão entre a turbidez e a precipitação resultando em equações com R^2 entre 0,01 e 0,89 para o período todo; R^2 entre 0,01 e 0,96 para o período seco (abril a setembro); e 0,04 e 0,88 para o período chuvoso (outubro a março). A relação entre T_r e P_m é um bom indicativo para predição de níveis de turbidez, porém recomenda-se utilizar períodos de análise mais longos para maior precisão dos ajustes.

Palavras-chave: Bacias hidrográficas. Qualidade da água. Abastecimento urbano.

RELATIONSHIP BETWEEN PRECIPITATION AND TURBIDITY IN WATER COURSES IN ESPÍRITO SANTO

ABSTRACT

Water is an irreplaceable natural resource for the maintenance of life on Earth. For human consumption, the depreciation of its quality can have different consequences on public supply. Therefore, the objective was to relate turbidity with precipitation of 50 hydrographic basins whose sources are used for public supply in the State of Espírito Santo. Fifty points of adduction of raw water used in the treatment and supply to the public supply network were selected, using their monthly averages of turbidity of 48 months, from 2006 to 2008. The hydrographic basins were delimited using a hydrologically consistent digital elevation model, obtained in a GIS environment. Precipitation data were spatialized using the ordinary kriging geostatistical technique. A regression analysis was performed between turbidity and precipitation resulting in equations with R^2 between 0.01 and 0.89 for the entire period; R^2 between 0.01 and 0.96 for the dry season (April to September); and 0.04 and 0.88 for the rainy season (October to March). The relationship between T_r and P_m is a good indicator for predicting turbidity levels, but the use of longer analysis periods for greater accuracy of the adjustments is recommended.

Keywords: Watersheds. Water quality. Urban supply.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural insubstituível para a manutenção da vida na Terra. A contínua degradação de sua qualidade tem consequências diversas para os ecossistemas e para as populações humanas. Por ser um recurso de uso múltiplo, para cada finalidade existe a demanda por um conjunto de parâmetros específicos, o que condiciona a qualidade da água para este emprego.

As alterações das características físico-químicas da água, decorrentes dos diferentes usos que afetam sua qualidade, têm impacto direto em outras formas de utilização (ASADOLLAH et al., 2021; SOLEIMANI et al., 2018), uma vez que a qualidade da água em um ponto de adução tem relação com a qualidade hidrológica da bacia hidrográfica localizada a montante (SALMONA; REIS JUNIOR, 2011; SILVA; SOUZA FILHO; AQUINO, 2017).

A relação da bacia hidrográfica com a qualidade da água é influenciada por fatores que podem variar no tempo e no espaço (YONG; CHEN, 2002), havendo relação direta com a vazão, o clima, a conformação topográfica do terreno, o uso do solo, a erosão e a descarga de efluentes agrícolas, domésticos/urbanos e industriais (PEREIRA, 2004; ZHANG et al., 2021). Consequentemente, a substituição da cobertura vegetal natural influencia diversos componentes do ciclo hidrológico, alterando a resposta hidrológica da bacia de forma quantitativa e qualitativa (EUGÊNIO et al., 2013). Por estes motivos, estudos relacionando a qualidade da água com a ocupação, uso e manejo do solo são realizados com diferentes objetivos.

Para fins de consumo humano, a depreciação da qualidade da água em um manancial pode ter consequências diversas para o abastecimento público, como a contaminação com patógenos ou substâncias tóxicas, riscos de ocorrência de eutrofização e o consequente aumento no custo do tratamento para fornecimento a rede de abastecimento público (PEREIRA, 2004; HAMEED et al., 2018).

Dentre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água destinada ao consumo humano, considerando padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2021), a turbidez é um dos parâmetros de controle de qualidade para avaliação das características físicas da água bruta e tratada.

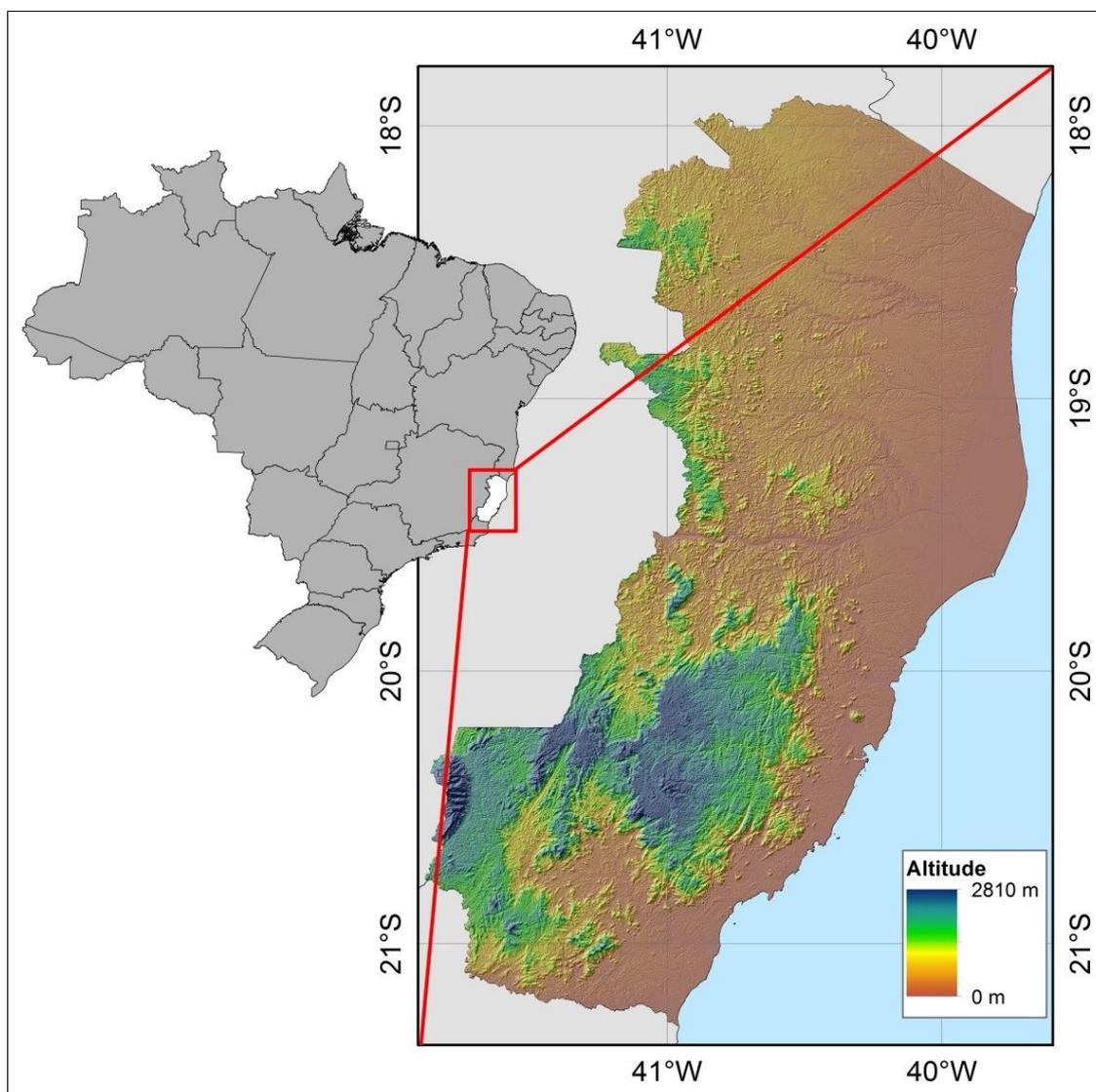
A turbidez é uma expressão dos sólidos em suspensão na água, de origem orgânica e inorgânica, tendo relação com processos erosivos, o transporte de sedimentos, assoreamento de cursos d'água e represas (TEIXEIRA; SENHORELO, 2000; VON SPERLING, 2005; RAPOSO; BARROS; MAGALHÃES JÚNIOR, 2010; DE VINCENZO et al., 2011), bem como com o desgaste prematuro de máquinas e equipamentos. Pode ainda ocasionar desequilíbrios nos ambientes aquáticos, como a alteração dos processos de produção primária, em função da atenuação da transmissão da radiação luminosa, bem como servir de suporte a proliferação de microrganismos patógenos, além da mortalidade da fauna aquática (ROWE et al., 2002; CAMPLES; PEREZ; SIQUEIRA, 2010; LERIS et al., 2022).

Do exposto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a relação entre a turbidez de cursos d'água com os totais precipitados, em escala temporal mensal, de 50 bacias de captação de água para abastecimento urbano no Estado do Espírito Santo.

MATERIAL E MÉTODOS

Localizado na região Sudeste, o Estado do Espírito Santo tem área de 46.184,1 Km², ao longo do litoral. A baixada Espírito Santense abrange 40% do território, no domínio da planície costeira. A região montanhosa abrange 60 % do território (Figura 1). Apresenta dois tipos principais de clima, o tropical chuvoso e o mesotérmico úmido (MORAES, 1974).

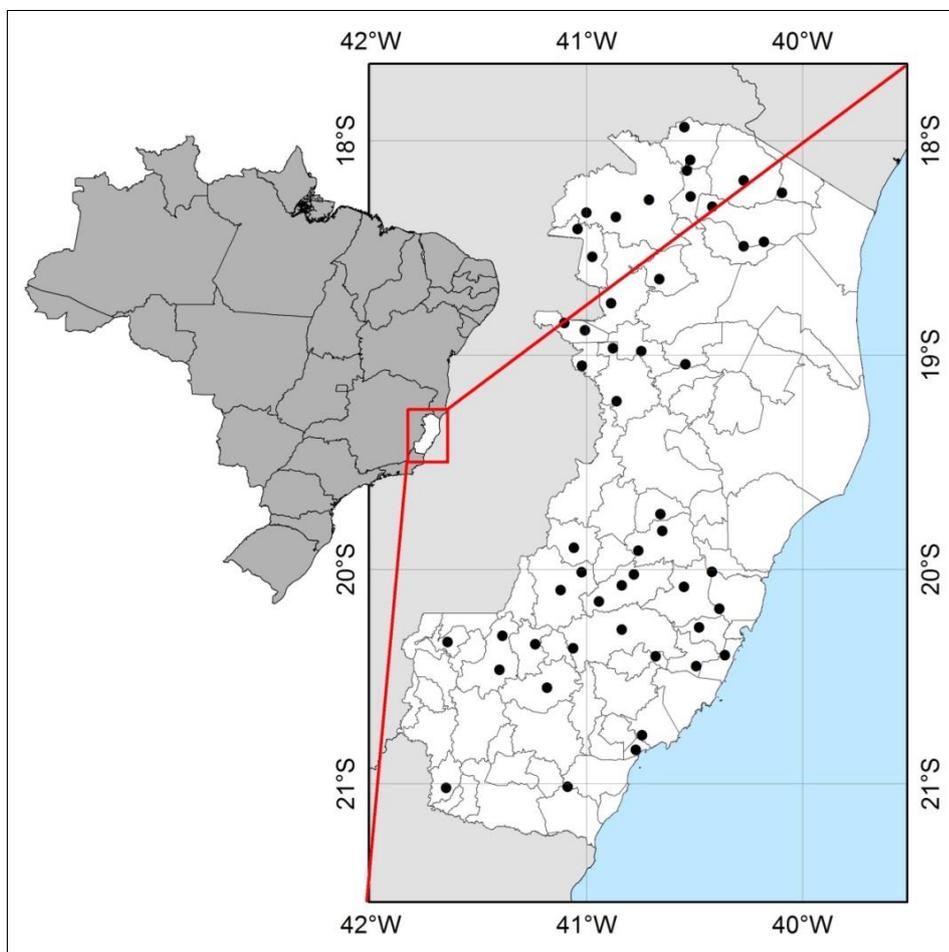
Figura 1 - Espírito Santo (Brasil): Relevo do Estado do Espírito Santo, 2015.



Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Os dados de turbidez dos cursos d'água (Tr) foram obtidos junto à Companhia Espírito-Santense de Saneamento (CESAN), a qual mantém-se medições sistemáticas para operação e controle de insumos de cada Estação de Tratamento de Água (ETA) que opera no estado. Visto que os dados diários são descartados periodicamente, utilizaram-se os dados de turbidez média mensal para um período de 48 meses compreendidos entre janeiro de 2006 e dezembro de 2009, por ser um período de 24 meses antes e 24 meses após o levantamento dos dados de uso do solo observados. Algumas ETAs operadas pela CESAN são alimentadas por bacias que extrapolam os limites do Estado e não foram utilizadas. Outras ETAs são abastecidas por mais de um corpo hídrico, sem que haja diferenciação das leituras de turbidez, motivo pelo qual também não foram selecionadas. A localização das 50 ETAs e respectivas bacias de contribuição pode ser vista na Figura 2, e as coordenadas, municípios e rios das ETAs utilizadas são apresentadas na Tabela 1.

Figura 2 - Espírito Santo (Brasil): Localização das 50 ETAs operadas pela CESAN no estado do Espírito Santo, 2015.



Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Tabela 1 - Espírito Santo (Brasil): Coordenadas, município e rio em que estão localizadas as cinquenta ETAs utilizadas, 2015.

(continua)

CÓDIGO	LONGITUDE	LATITUDE	MUNICÍPIO	RIO
0003	345.667	7.757.595	CARIACICA	RIO DUAS BOCAS
0010	344.371	7.737.667	VIANA	RIO JACARANDÁ
0011	355.269	7.767.379	SERRA	RIO STA. MARIA DA VITORIA
0012	358.195	7.743.448	VILA VELHA	RIO JUCU
0500	339.286	7.998.989	MUCURICI	RIO ITAUNAS - BARRAGEM
0501	337.537	7.993.501	PONTO BELO	CÓRREGO MONTANHA
0502	336.237	8.016.009	MUCURICI	CÓRREGO DO TENENTE
0503	339.615	7.980.202	PONTO BELO	CÓRREGO LAGEADO
0601	384.203	7.982.401	PEDRO CANARIO	CÓRREGO CABOCLO
0702	365.728	7.987.020	MONTANHA	CÓRREGO VINHATICO
0900	375.583	7.956.978	PINHEIROS	RIO ITAUNINHAS

Tabela 1 - Espírito Santo (Brasil): Coordenadas, município e rio em que estão localizadas as cinquenta ETAs utilizadas, 2015.

(conclusão)

CODIGO	LONGITUDE	LATITUDE	MUNICIPIO	RIO
0901	350.298	7.974.929	PINHEIROS	RIO DO SOBRADO - UNIÃO
1000	303.134	7.969.266	ECOPORANGA	BARRAGEM - RIO 2 DE SETEMBRO
1001	319.259	7.978.173	ECOPORANGA	CÓRREGO DO FAÇAO
1005	288.539	7.971.231	ECOPORANGA	BARRAGEM - CÓRREGO DA PRATA
1100	365.692	7.954.572	BOA ESPERANÇA	CÓRREGO PERLETE
1200	301.112	7.924.584	BARRA DE SÃO FRANCISCO	RIO ITAUNAS
1202	284.402	7.962.794	ÁGUA DOCE DO NORTE	CÓRREGO TARDANO
1300	291.679	7.948.535	ÁGUA DOCE DO NORTE	RIBEIRÃO BOM JESUS
1400	278.495	7.914.109	MANTENÓPOLIS	RIBEIRÃO MANTENINHA
1401	288.491	7.910.605	MANTENÓPOLIS	CÓRREGO STA. LUZIA
1700	324.598	7.937.333	VILA PAVÃO	CÓRREGO SOCORRO
2000	337.851	7.893.506	SÃO GABRIEL DA PALHA	RIO SÃO JOSE
2100	316.226	7.900.008	ÁGUIA BRANCA	RIO SÃO JOSE
2200	304.435	7.874.080	PANCAS	RIBEIRÃO PANQUINHAS
2201	302.370	7.901.399	PANCAS	RIO SÃO JOSE
2900	287.401	7.892.174	ALTO RIO NOVO	CÓRREGO RIO NOVO
3201	327.220	7.807.250	SANTA TERESA	RIO 05 DE NOVEMBRO
3204	326.220	7.816.000	SÃO ROQUE DO CANAÃ	RIO SANTA MARIA DO RIO DOCE
3205	315.770	7.797.035	SANTA TERESA	RIO SANTA MARIA DO RIO DOCE
3402	351.660	7.786.433	FUNDÃO - SANTA LEOPOLDINA	RIO DO NORTE
5500	313.697	7.784.635	SANTA MARIA DE JETIBÁ	RIO SÃO SEBASTIAO DE CIMA
5502	307.854	7.778.965	SANTA MARIA DE JETIBÁ	CÓRREGO ABELDT
5503	296.906	7.770.620	SANTA MARIA DE JETIBÁ	RIO SANTA MARIA DA VITORIA
5600	338.173	7.778.570	SANTA LEOPOLDINA	RIO DA PRATA
5800	278.270	7.776.238	AFONSO CLAUDIO	RIO DO PEIXE
5806	288.490	7.785.440	AFONSO CLAUDIO	CÓRREGO SERRA PELADA
5901	224.031	7.748.634	IRUPI	RIO PARDINHO
6000	249.276	7.734.642	MUNIZ FREIRE	RIBEIRÃO VARGEM GRANDE
6001	250.498	7.752.236	MUNIZ FREIRE	CÓRREGO SÃO JOSE
6100	266.452	7.748.010	CONCEIÇÃO DO CASTELO	RIO CASTELO
6201	324.646	7.742.503	MARECHAL FLORIANO	RIO JUCU BRACO SUL
6206	284.850	7.746.187	DOMINGOS MARTINS	RIO JUCU BRACO NORTE
6207	308.246	7.756.120	DOMINGOS MARTINS	CÓRREGO AREINHA
6500	284.596	7.798.106	LARANJA DA TERRA	RIO GUANDU
7400	272.380	7.725.570	CASTELO	RIO CAXIXE
7800	318.582	7.701.737	ANCHIETA	RIO PONGAL
8000	315.649	7.694.032	PIUMA	RIO ICONHA
9400	224.498	7.661.809	SÃO JOSÉ DO CALÇADO	RIO CALÇADO
9900	282.999	7.674.664	PRESIDENTE KENNEDY	RIO MUQUI DO NORTE

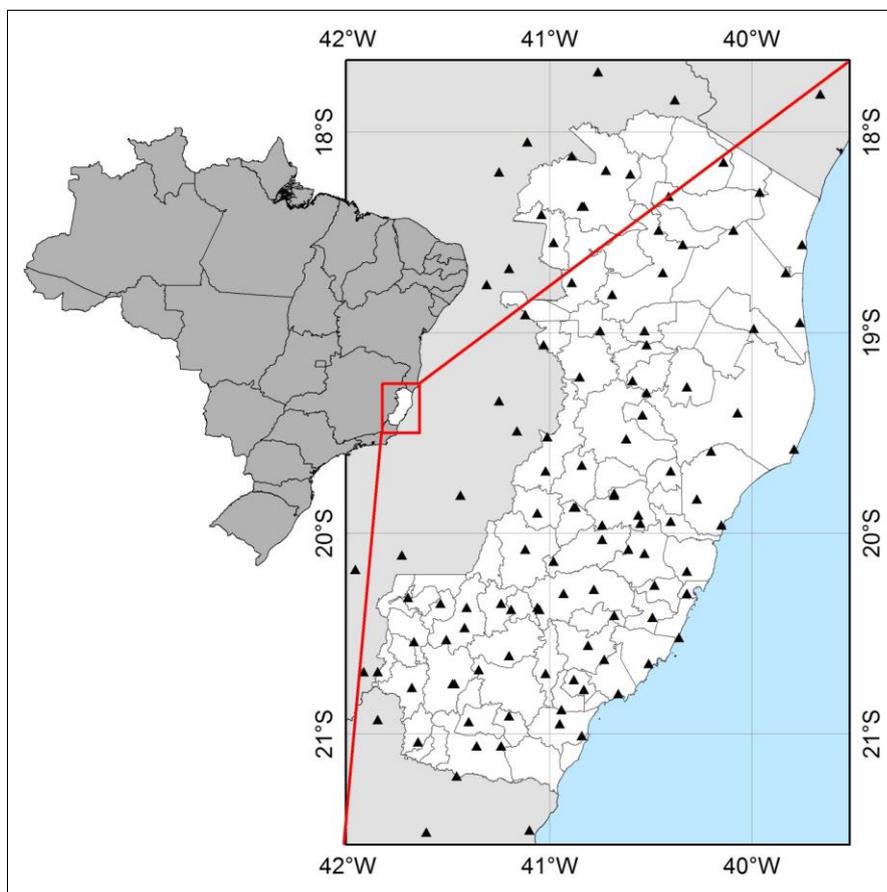
Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Os arquivos vetoriais foram recortados utilizando as bacias como máscara de corte e tiveram as áreas calculadas com as ferramentas do *software* de geoprocessamento.

Obtiveram-se dados de precipitação de 110 estações pluviométricas distribuídas pela área de estudo, com dados médios mensais consistidos, sendo 94 no Espírito Santo, 12 em Minas Gerais, 3 no Rio

de Janeiro e 1 na Bahia (Figura 3). Os dados médios mensais de 48 meses, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009, foram utilizados para obter estimativas de precipitação nas bacias hidrográficas.

Figura 3 - Espírito Santo (Brasil): Distribuição espacial das estações pluviométricas, 2015.



Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Os registros pluviométricos médios mensais foram interpolados, por meio da extensão *Geostatistical Analyst*, do *software* de geoprocessamento. O método de interpolação utilizado para gerar as superfícies de precipitação média estimada foi a krigagem ordinária. Os dados de precipitação dos 48 meses foram ajustados para os 11 modelos de semivariograma, utilizando o módulo de otimização do *Geostatistical Analyst*.

Para avaliar o desempenho dos 11 modelos, foi utilizada a técnica de validação cruzada, a qual consiste em retirar um a um os valores observados e estimá-los com o modelo em questão, sendo escolhido o modelo com o menor valor de raiz do quadrado médio do erro (RQME, em mm mês⁻¹), conforme a equação abaixo.

$$RQME = \sqrt{\frac{\sum_{i=j}^j (O_i - E_j)^2}{j}}$$

em que:

O_i = i-ésimo valor observado;

E_i = i-ésimo valor estimado pelo modelo de interpolação;

J = número de observações.

Os modelos de semivariograma ajustados foram circular, exponencial, gaussiano, efeito furo, j-bessel, k-bessel, pentaesférico, racional quadrático, esférico, estável e tetraesférico (Circ, Expn, Gaus, Efur, Jbes, Kbes, Pesf, Racq, Esfr, Estv e Tesf, respectivamente).

Todas as etapas referentes à preparação do MDE, obtenção do modelo digital de elevação hidrologicamente consistido (MDEHC), e delimitação das bacias, foram realizadas no *software* de geoprocessamento.

A primeira etapa da análise de dados foi a padronização dos dados, que os transforma em dados com média zero ($\bar{X} = 0$) e variância igual à unidade ($s^2 = 1$), conforme equação abaixo:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{s(X_j)}$$

em que:

Z_{ij} = i-ésimo valor padronizado da j-ésima variável;

X_{ij} = i-ésimo valor da j-ésima variável;

\bar{X}_j = média da j-ésima variável;

$s(X_j)$ = desvio padrão da j-ésima variável.

Em seguida, foi realizado o diagnóstico de colinearidade, por meio do número da condição (NC). Este índice é obtido realizando a divisão do maior pelo menor autovalor obtido a partir da matriz das variáveis, sendo que valores abaixo de 100 indicam multicolinearidade fraca a moderada, valores entre 100 e 1000 indicam multicolinearidade moderada a forte e valores acima de 1000 indicam multicolinearidade severa (MONTGOMERY et al., 2012). Quando o NC ultrapassou o limite de colinearidade fraca para moderada ($NC > 100$), decidiu-se pelo descarte de variáveis para redução da colinearidade entre os dados.

Nas situações em que a multicolinearidade entre as variáveis foi maior que o aceitável ($NC > 100$), realizou-se o descarte de variáveis redundantes antes da execução dos agrupamentos das bacias semelhantes. Foi realizado três agrupamentos das bacias, um utilizando as variáveis morfométricas, outro utilizando as variáveis de uso do solo e o terceiro utilizando todas as variáveis.

O descarte de variáveis foi realizado com base na matriz de correlação de Pearson (r^2) das variáveis. A cada etapa foi realizado o seguinte procedimento: das variáveis com o maior valor de correlação entre si, foi selecionada para descarte a que apresentava menor correlação com Tr; após o descarte repetiu-se o cálculo do NC, se o valor fosse acima de 100, repetia-se o procedimento, até o NC estar abaixo de 100.

Para obter as equações que estimem a turbidez em função da precipitação, para cada bacia foi realizada a regressão entre Tr e a precipitação acumulada mensal (Pm). Foram testados os modelos de regressão linear, exponencial, logarítmico, potência e polinomial de segundo grau, para período seco (abril a setembro), para o período chuvoso (outubro a março) e para o período todo. A análise dos dados foi realizada em planilhas eletrônicas e no software de análise estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

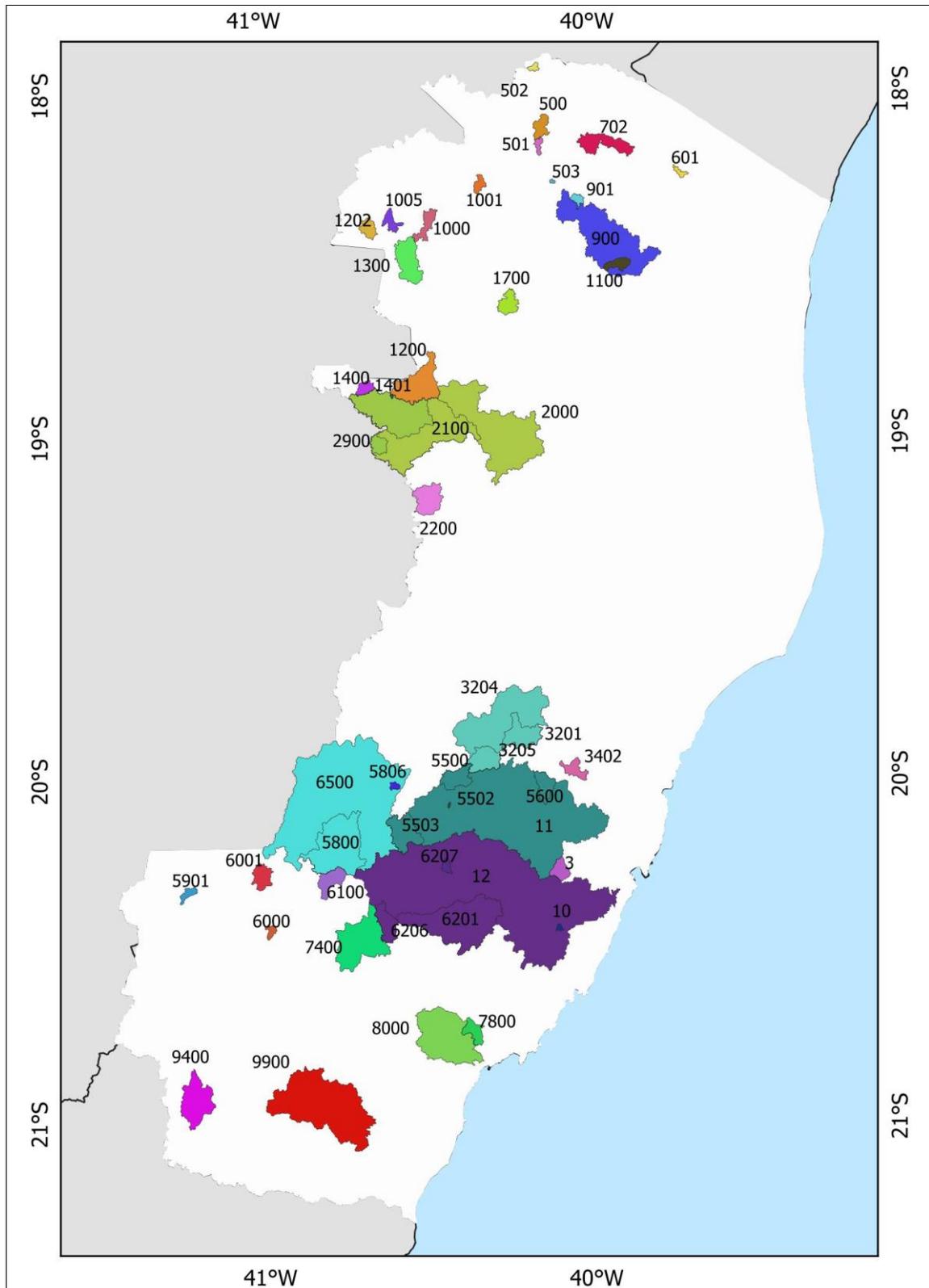
Na Tabela 2, estão sumarizados os valores de RQME para os interpoladores ajustados para cada mês.

Tabela 2 - Espírito Santo (Brasil): raiz do quadrado médio do erro (RQME) dos modelos de semivariograma ajustados por validação cruzada, com destaque para os menores valores por mês, 2015.

		Modelos de Semivariograma										
Ano	Mês	Circ	Expn	Gaus	Efur	Jbes	Kbes	Pesf	Racq	Esfr	Estv	Tesf
2006	Jan	17,35	17,44	17,33	17,73	17,13	17,35	17,21	17,37	17,26	17,33	17,21
	Fev	27,59	27,63	27,57	27,06	27,46	27,50	27,62	27,49	27,55	27,52	27,53
	Mar	57,59	57,46	57,31	55,92	57,34	57,27	57,63	57,39	57,64	57,27	57,63
	Abr	40,66	40,08	41,08	40,90	40,69	41,60	40,05	40,82	40,41	40,09	40,16
	Mai	9,68	9,69	9,68	9,28	9,65	9,69	9,70	9,62	9,69	9,68	9,69
	Jun	16,97	16,69	16,94	17,43	16,34	16,66	16,82	16,57	16,97	16,67	16,77
	Jul	10,47	10,99	11,00	11,05	10,75	10,99	10,74	10,86	10,72	10,95	10,70
	Ago	17,99	18,23	17,97	17,96	17,95	18,11	18,02	18,12	18,00	18,10	18,01
	Set	23,23	23,15	23,10	23,98	23,15	23,15	23,33	22,97	23,29	23,14	23,32
	Out	38,54	37,83	38,23	39,98	38,08	37,59	37,96	37,21	38,25	37,61	38,06
	Nov	56,55	57,08	56,40	56,55	55,91	56,59	56,84	56,87	56,80	56,46	56,92
	Dez	67,13	66,68	67,21	67,73	66,56	66,70	68,05	66,81	67,12	66,92	67,03
2007	Jan	51,29	51,29	51,25	52,05	50,62	51,30	51,35	50,49	51,37	51,25	51,37
	Fev	48,47	48,27	48,52	48,24	48,52	48,50	48,45	48,31	48,43	48,52	48,43
	Mar	24,22	24,89	23,67	24,13	23,55	23,86	24,36	24,32	24,31	23,72	24,36
	Abr	38,87	38,92	38,73	38,90	38,66	38,67	38,74	38,75	38,85	38,73	38,77
	Mai	19,52	19,57	19,53	19,78	19,63	19,67	19,50	19,45	19,54	19,65	19,53
	Jun	7,94	7,92	7,94	7,88	7,81	7,91	7,93	7,91	7,94	7,91	7,94
	Jul	9,09	9,13	9,06	9,02	9,06	9,14	9,09	9,16	9,08	9,19	9,08
	Ago	21,12	20,90	21,20	21,18	21,18	20,76	21,04	20,70	21,08	20,68	21,06
	Set	18,09	18,18	18,01	19,87	18,07	17,99	18,04	17,83	18,06	17,98	18,04
	Out	26,79	26,24	26,35	25,60	26,22	26,35	26,43	26,12	26,84	26,35	26,56
	Nov	42,97	44,07	43,10	43,04	42,87	43,19	43,25	44,39	43,16	43,10	43,17
	Dez	52,76	52,95	52,65	52,35	53,13	52,94	52,86	52,78	52,86	53,00	52,76
2008	Jan	46,75	47,13	47,27	48,19	47,15	47,28	46,93	47,26	47,03	47,32	47,00
	Fev	58,24	58,43	58,42	56,74	56,73	58,41	58,51	58,32	58,39	58,39	58,48
	Mar	56,60	57,47	57,31	55,59	56,27	57,31	56,54	56,62	56,83	57,15	56,78
	Abr	40,84	41,74	39,97	40,28	40,17	40,07	40,84	40,69	40,83	39,97	40,82
	Mai	19,60	19,63	19,55	19,87	19,28	19,55	19,57	19,50	19,60	19,58	19,57
	Jun	22,92	23,15	22,79	22,44	22,88	22,83	22,93	23,02	22,97	22,79	22,92
	Jul	11,99	12,05	11,97	11,98	11,96	11,99	11,93	12,10	11,89	11,97	11,90
	Ago	10,53	10,60	10,46	10,61	10,42	10,46	10,52	10,46	10,53	10,46	10,52
	Set	40,20	39,54	40,19	38,56	39,47	40,08	39,57	39,48	40,05	40,19	39,69
	Out	53,16	52,71	53,78	53,93	54,63	53,76	52,87	52,83	52,99	53,77	52,83
	Nov	87,74	87,42	87,75	87,79	87,98	87,34	87,75	87,52	87,94	87,36	87,63
	Dez	61,17	60,23	62,58	61,42	60,91	60,26	60,72	60,16	60,70	60,18	60,71
2009	Jan	59,76	59,94	60,08	64,34	60,91	59,95	60,31	59,94	59,88	59,90	60,17
	Fev	34,53	34,87	34,21	34,66	34,06	34,17	34,54	34,70	34,53	34,21	34,54
	Mar	55,00	55,79	55,50	57,01	55,96	55,41	55,58	55,69	55,17	55,50	55,56
	Abr	48,99	49,30	49,50	49,84	49,30	49,33	49,18	49,61	49,06	49,47	49,07
	Mai	17,59	17,54	17,58	17,15	17,56	17,58	17,61	17,51	17,60	17,58	17,61
	Jun	17,25	17,34	17,08	17,06	16,97	17,07	17,27	17,08	17,28	17,08	17,27
	Jul	20,51	20,35	20,52	20,26	20,05	20,33	20,56	20,10	20,56	20,29	20,58
	Ago	20,57	20,67	20,73	20,69	20,48	20,72	20,67	20,44	20,62	20,72	20,70
	Set	16,40	16,66	16,45	15,97	15,84	16,40	16,42	16,45	16,41	16,40	16,41
	Out	78,14	78,69	78,30	77,41	78,47	78,31	78,44	78,33	78,24	78,36	78,44
	Nov	61,83	61,73	61,76	61,54	61,61	61,62	61,54	61,78	61,62	61,63	61,54
	Dez	58,02	58,60	58,99	59,08	59,04	58,85	58,22	59,04	58,16	58,58	58,21

Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Figura 4 - Espírito Santo (Brasil): Distribuição espacial das cinquenta bacias hidrográficas delimitadas, 2015.



Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

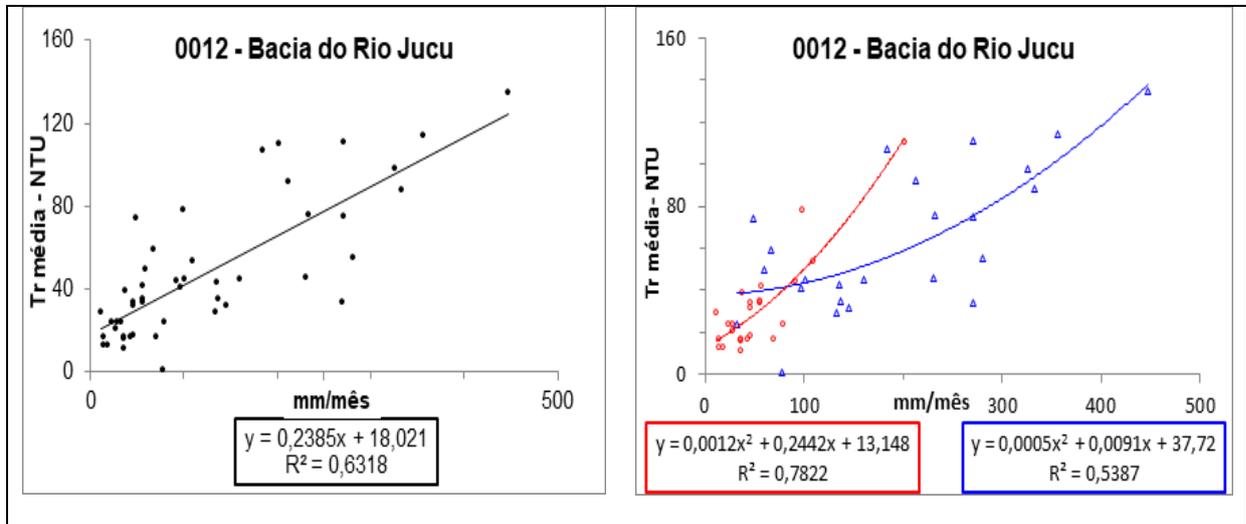
Tabela 3 - Espírito Santo (Brasil): Código atribuído pela Cesan, médias de turbidez média mensal e precipitação média mensal das cinquenta bacias delimitadas a partir dos pontos de adução, 2015.

Código Cesan	Tr	Pm	Código Cesan	Tr	Pm
	NTU	mm		NTU	mm
0003	4,0	130,8	2201	26,1	71,0
0010	22,9	124,6	2900	28,1	90,3
0011	39,6	118,0	3201	39,3	132,5
0012	47,3	122,9	3204	46,5	85,6
0500	12,4	85,7	3205	38,6	108,8
0501	50,8	87,8	3402	23,4	139,3
0502	23,8	85,8	5500	33,7	102,6
0503	19,2	84,4	5502	16,5	110,4
0601	22,0	84,8	5503	6,3	104,4
0702	13,5	81,6	5600	13,6	153,1
0900	24,4	71,0	5800	56,2	116,0
0901	10,6	76,3	5806	27,7	101,1
1000	20,1	106,7	5901	39,2	140,1
1001	23,7	92,7	6000	98,0	126,9
1005	21,1	100,8	6001	14,9	125,0
1100	21,3	80,2	6100	34,5	125,8
1200	58,0	95,2	6201	48,8	120,4
1202	36,8	94,2	6206	21,5	129,6
1300	36,4	100,4	6207	18,2	112,8
1400	43,9	97,6	6500	116,1	108,5
1401	3,3	51,8	7400	122,7	129,8
1700	19,6	94,0	7800	40,2	133,1
2000	29,4	96,6	8000	37,2	135,5
2100	40,6	92,7	9400	36,7	125,3
2200	39,4	96,5	9900	84,1	121,8

Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

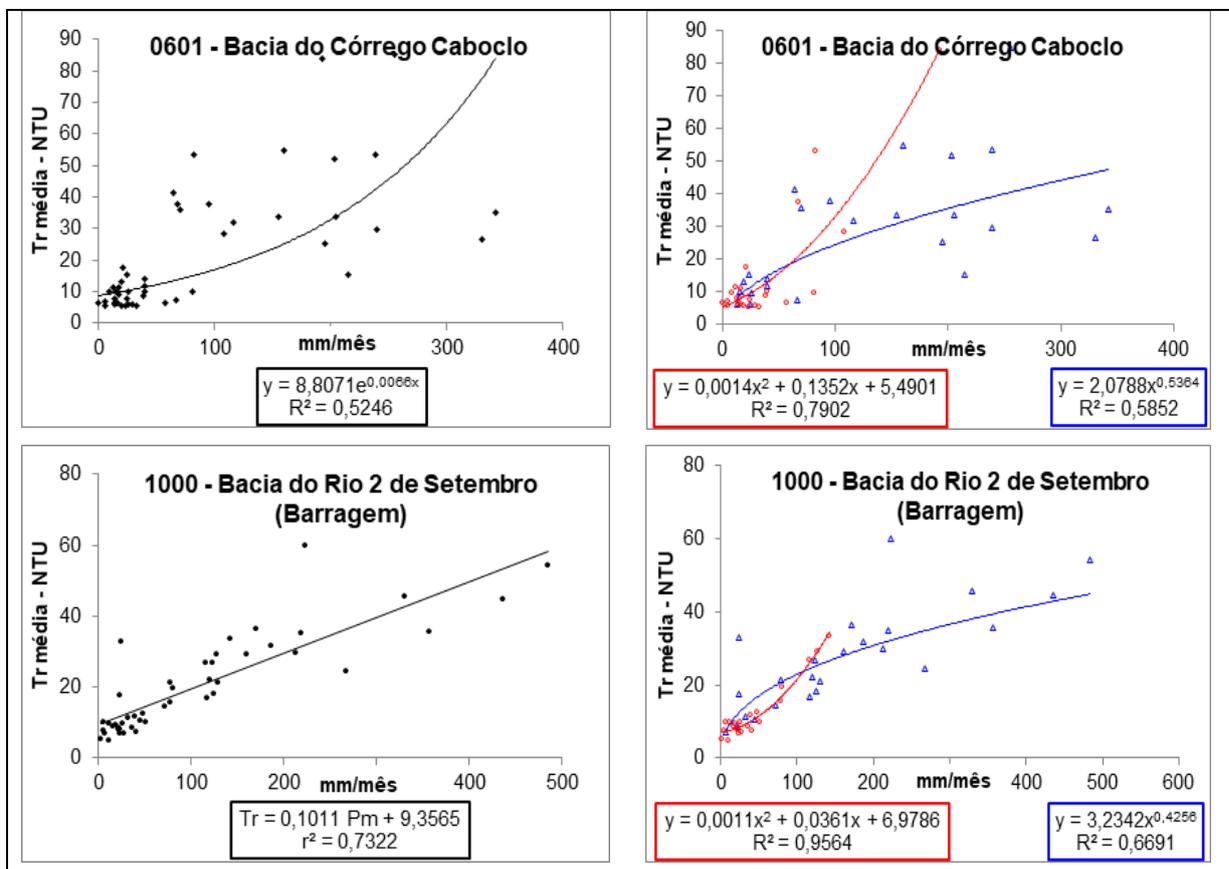
As equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para o período de janeiro de 2006 a dezembro de 2009 (em preto), para o período chuvoso (em azul) e seco (em vermelho), com $R^2 > 0,7$, em algum dos períodos analisados, são apresentadas nas Figuras 5 a 10.

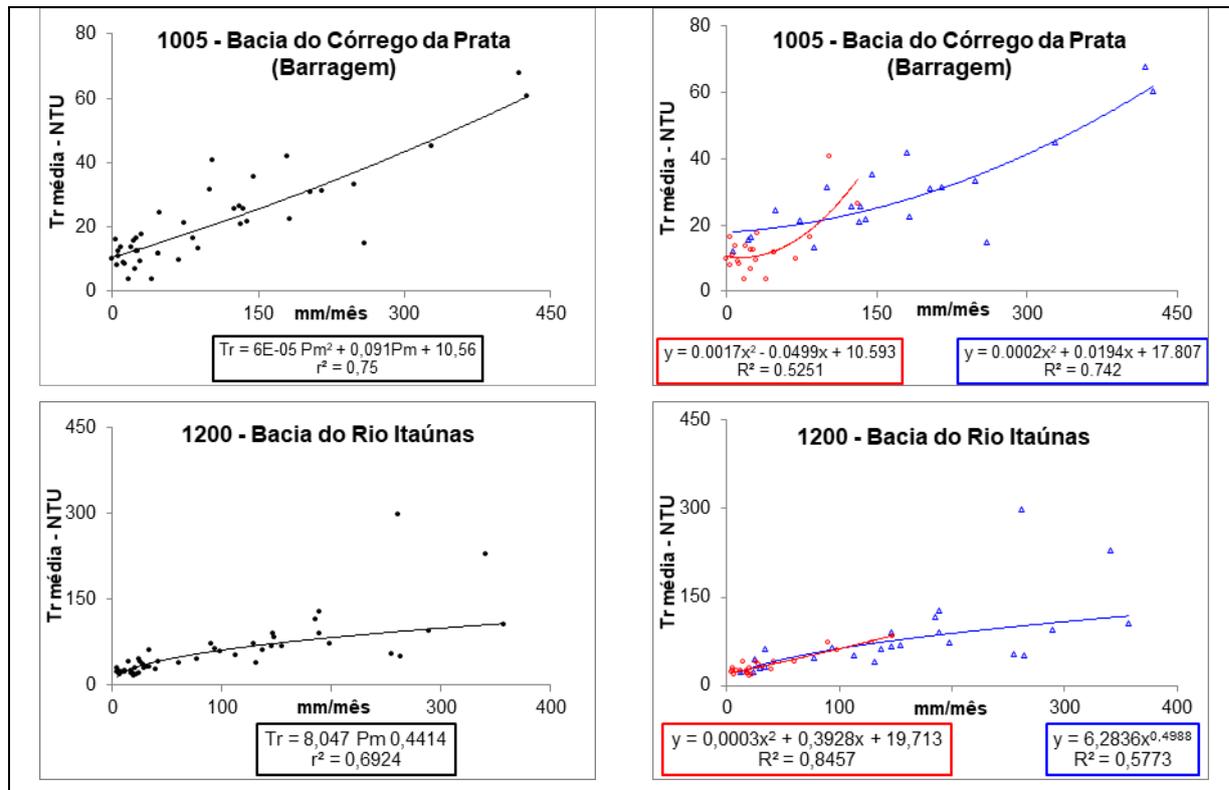
Figura 5 - Espírito Santo (Brasil): Equação de regressão ajustada entre Tr e Pm para a bacia de código 0012 com $R^2 > 0,7$, em algum dos períodos analisados, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009 (em preto), para o período chuvoso (em azul) e seco (em vermelho), 2015.



Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

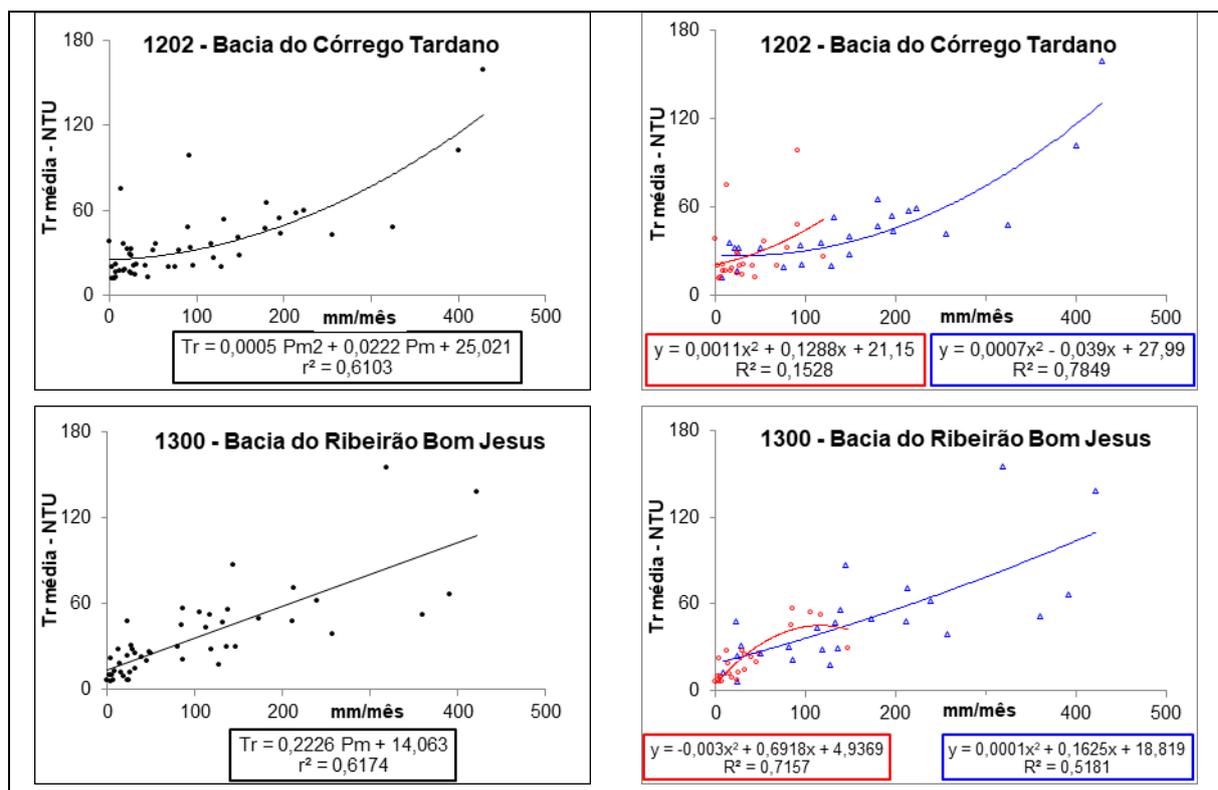
Figura 6 - Espírito Santo (Brasil): Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 0601 a 1200 com $R^2 > 0,7$, em algum dos períodos analisados, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009 (em preto), para o período chuvoso (em azul) e seco (em vermelho), 2015.



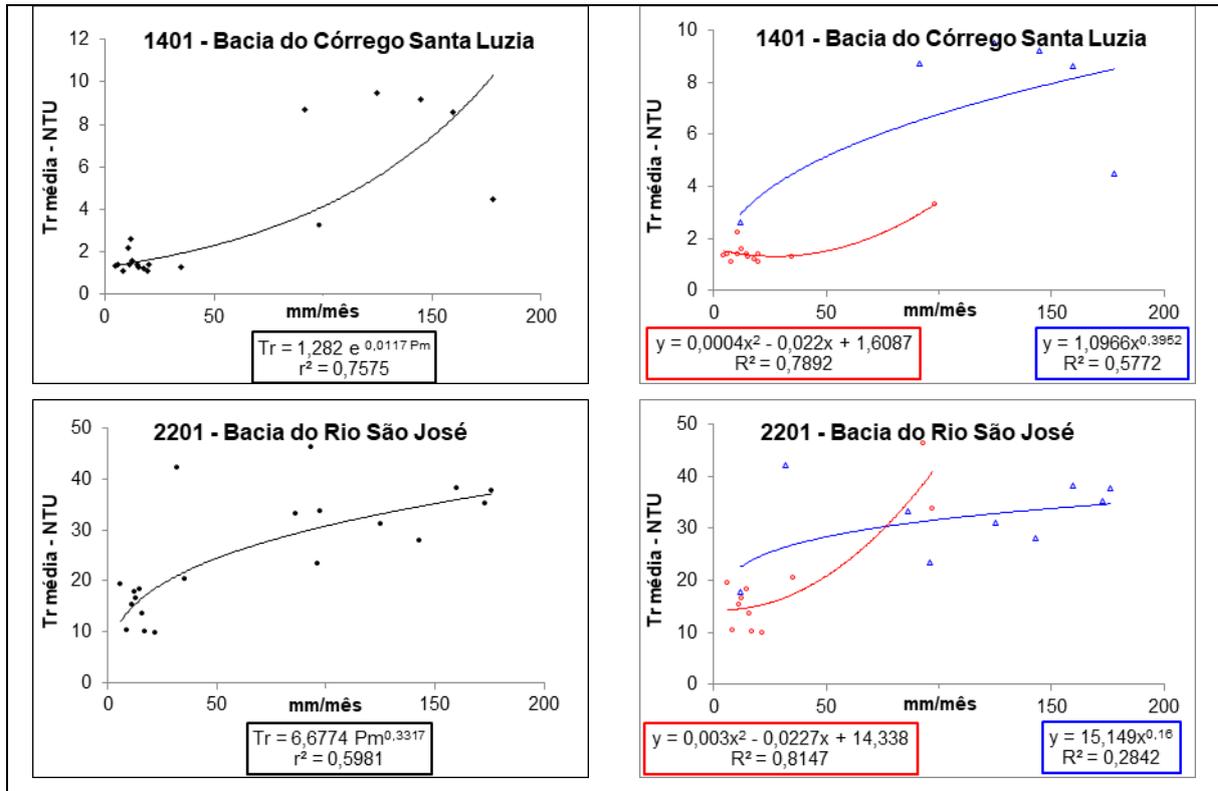


Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Figura 7 - Espírito Santo (Brasil): Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 1202 a 2201 1200 com $R^2 > 0,7$, em algum dos períodos analisados, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009 (em preto), para o período chuvoso (em azul) e seco (em vermelho), 2015.

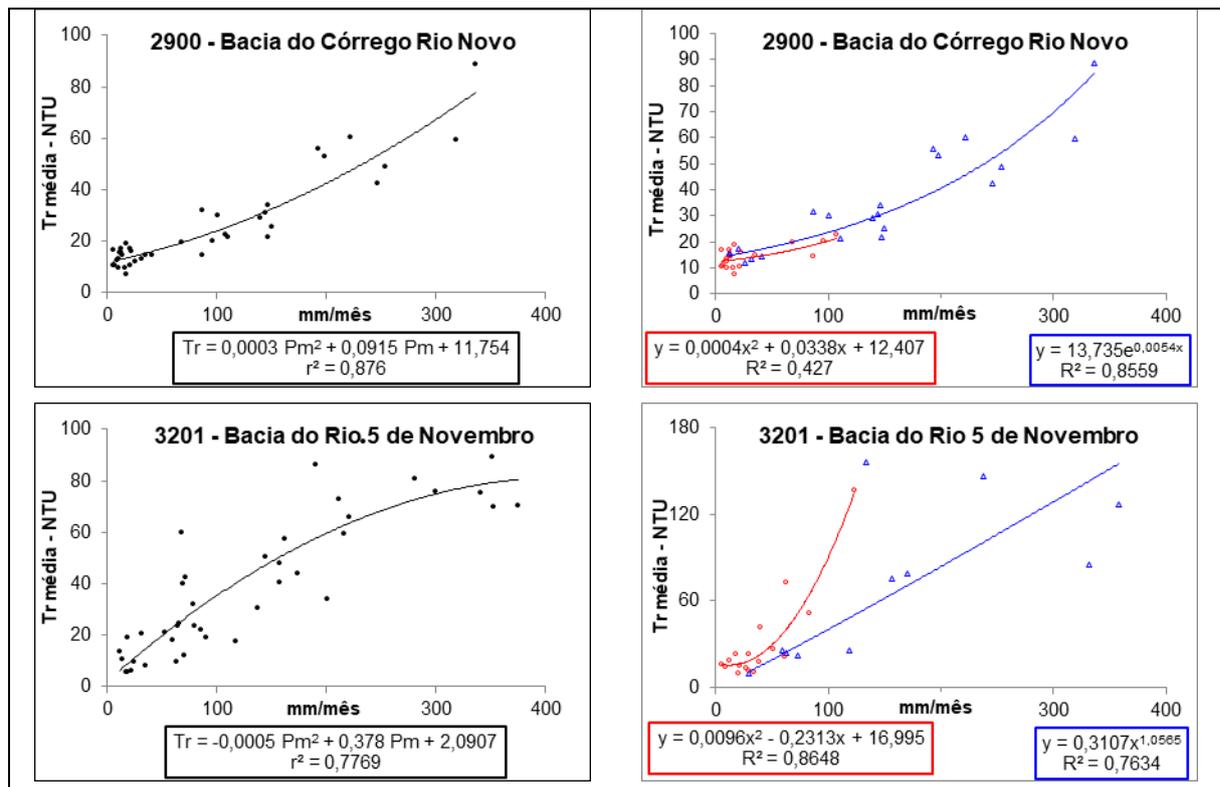


Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água no Espírito Santo

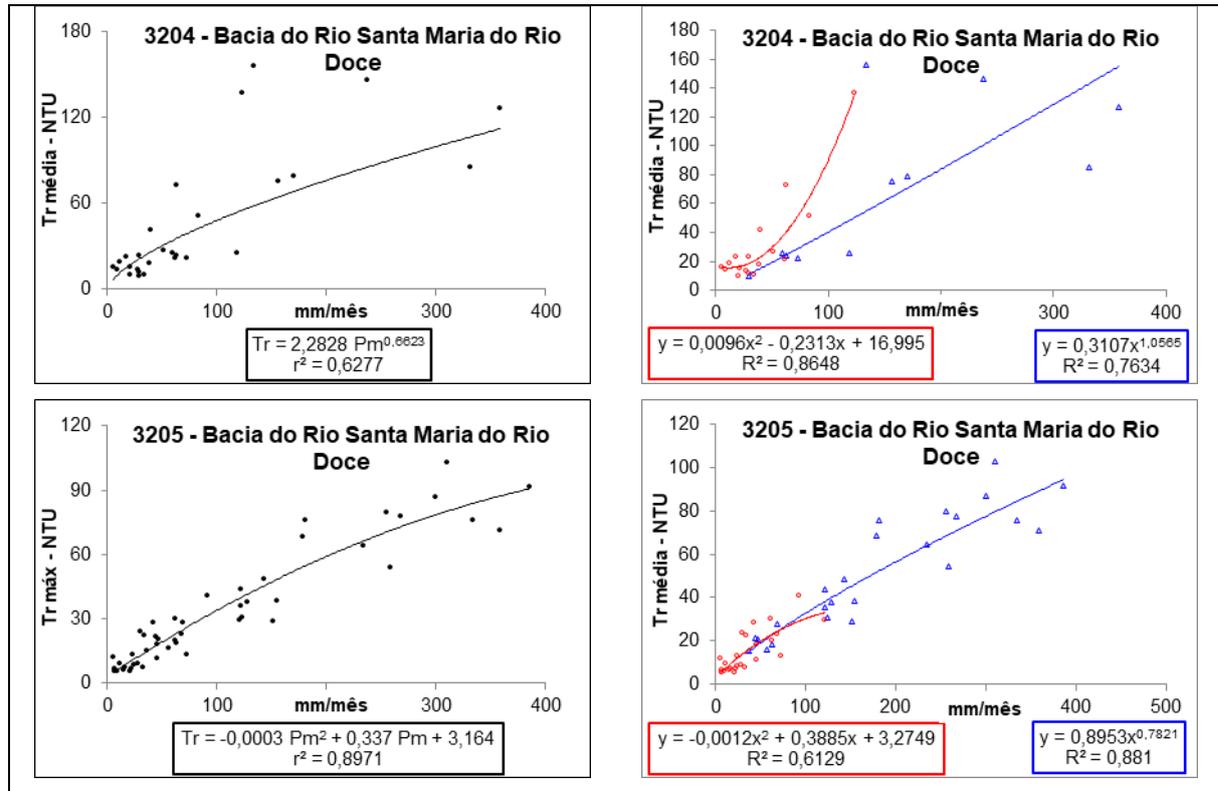


Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Figura 8 - Espírito Santo (Brasil): Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 2900 a 3205 com $R^2 > 0,7$, em algum dos períodos analisados, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009 (em preto), para o período chuvoso (em azul) e seco (em vermelho), 2015.

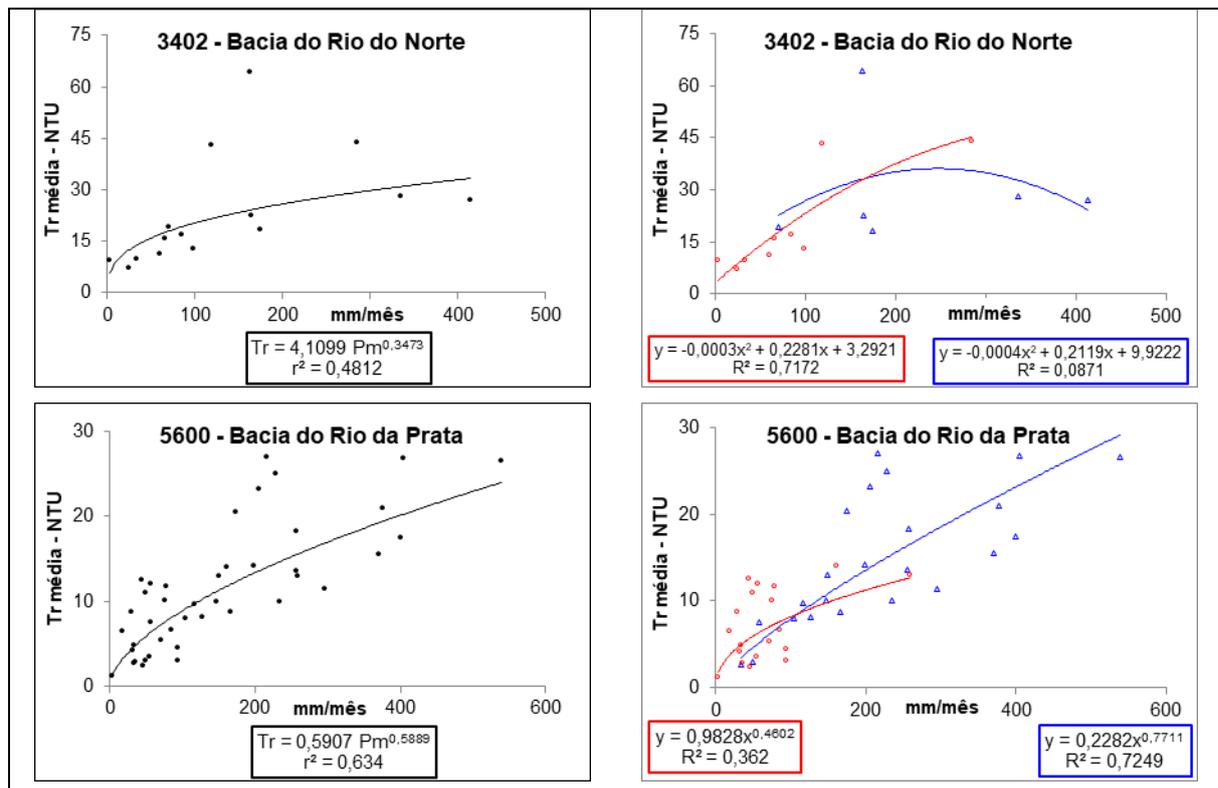


Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água
 no Espírito Santo

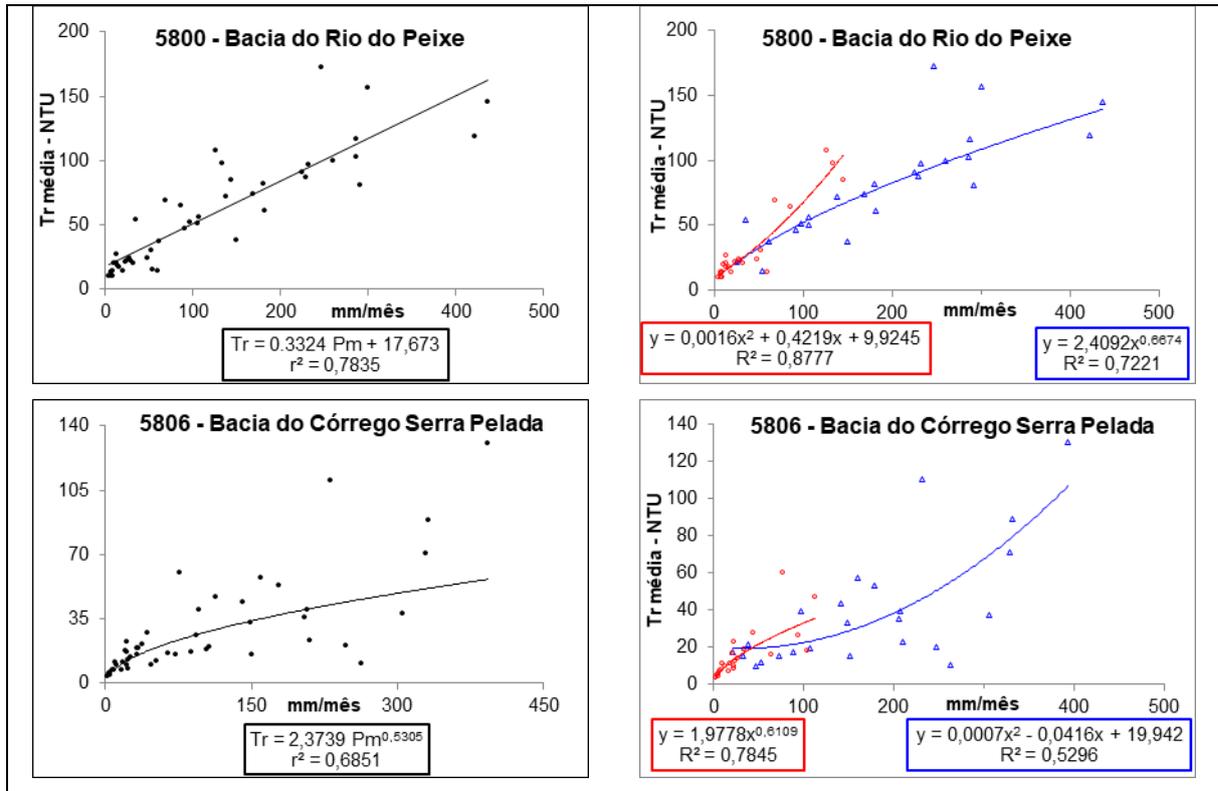


Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Figura 9 - Espírito Santo (Brasil): Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 3402 a 5806 com $R^2 > 0,7$, em algum dos períodos analisados, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009 (em preto), para o período chuvoso (em azul) e seco (em vermelho), 2015.

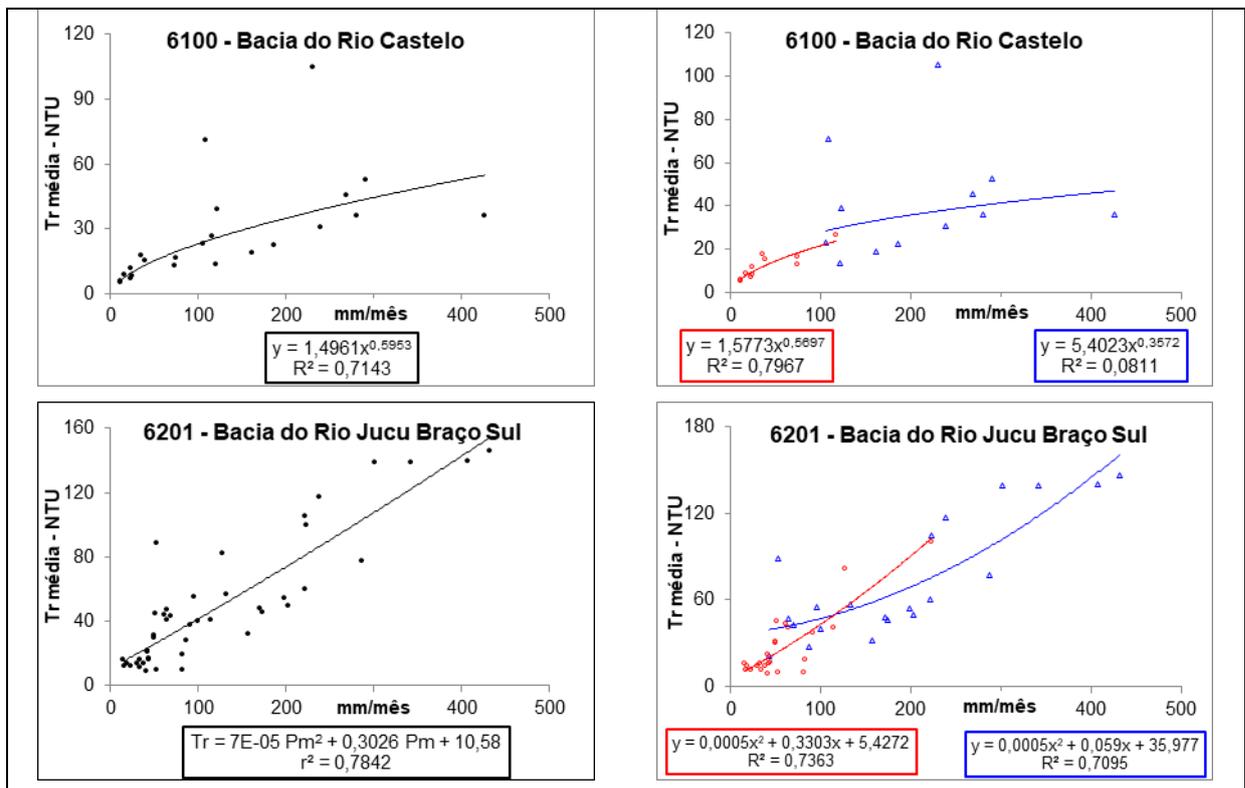


Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água
 no Espírito Santo

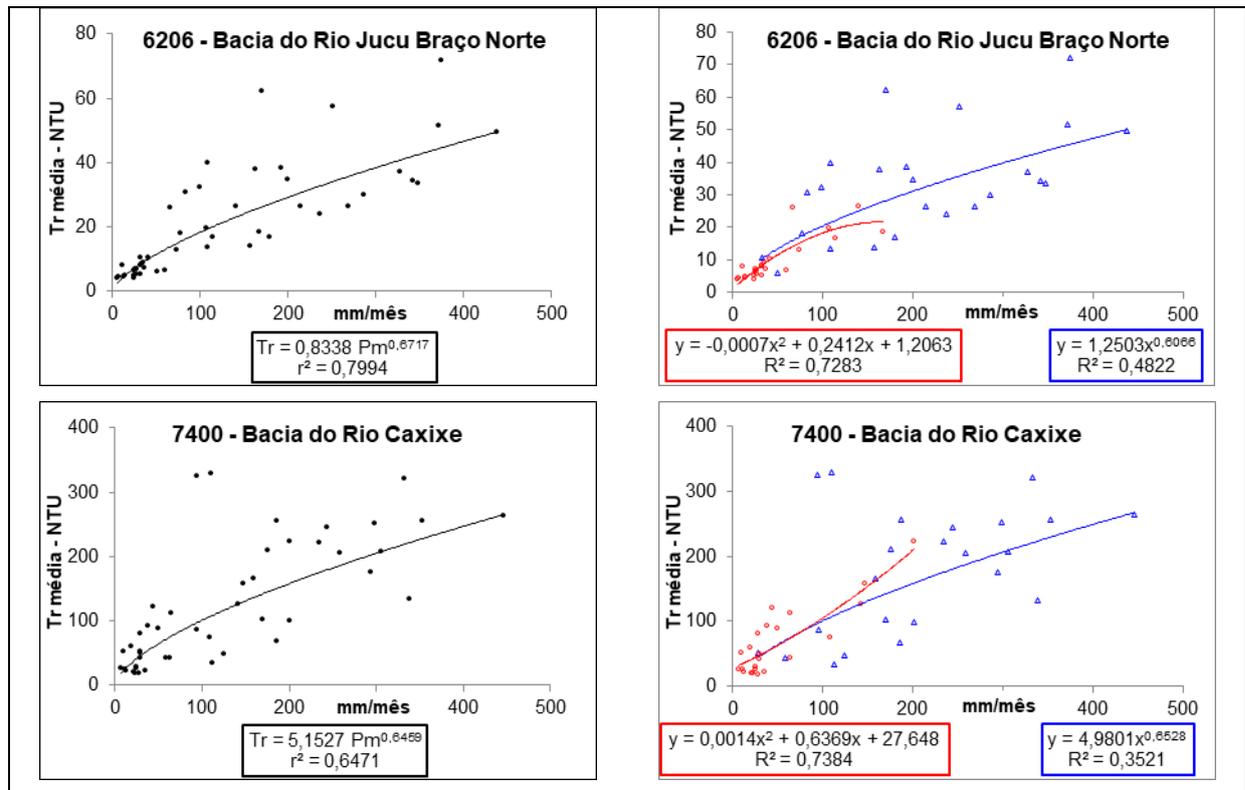


Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Figura 10 - Espírito Santo (Brasil): Equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm para as bacias de código 6100 a 7400 com $R^2 > 0,7$, em algum dos períodos analisados, de janeiro de 2006 a dezembro de 2009 (em preto), para o período chuvoso (em azul) e seco (em vermelho), 2015.



Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água no Espírito Santo



Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

Na Tabela 4 são exibidas todas as equações de regressão ajustadas e os respectivos R² para o período seco e chuvoso e para todo o período.

Tabela 4 - Espírito Santo (Brasil): Valores de R² para o período seco, chuvoso e para todo o período, 2015. (continua)

Código	R ² (período todo)	R ² (período seco)	R ² (período chuvoso)
0003	0,0823	0,4005	0,0415
0010	0,1581	0,1339	0,0979
0011	0,6044	0,6034	0,4755
0012	0,6318	0,7822	0,5387
0500	0,6318	0,6424	0,1984
0501	0,4407	0,5073	0,4951
0502	0,2565	0,6519	0,187
0503	0,0587	0,089	0,0423
0601	0,5246	0,7902	0,5852
0702	0,3294	0,6711	0,3526
0900	0,4099	0,6359	0,2275
0901	0,2843	0,0889	0,3123
1000	0,7322	0,9564	0,6691
1001	0,2835	0,0064	0,2046

Relação entre precipitação e turbidez em cursos d'água
 no Espírito Santo

1005	0,75	0,5251	0,742
1100	0,6474	0,5672	0,5591
1200	0,6924	0,8457	0,5773
1202	0,6103	0,1528	0,7849
1300	0,6174	0,7157	0,5181
1400	0,6258	0,5621	0,6059
1401	0,7575	0,7892	0,5772
1700	0,4949	0,3412	0,4974
2000	0,6514	0,6527	0,6832
2100	0,5029	0,5662	0,3228
2200	0,6638	0,454	0,6797
2201	0,5981	0,8147	0,2842
2900	0,876	0,427	0,8559
3201	0,7769	0,8648	0,7634
3204	0,6277	0,8648	0,7634
3205	0,8971	0,6129	0,881
3402	0,4812	0,7172	0,0871
5500	0,5976	0,687	0,2994
5502	0,5778	0,4378	0,5513
5503	0,0148	0,2257	0,0415
5600	0,634	0,362	0,7249
5800	0,7835	0,8777	0,7221
5806	0,6851	0,7845	0,5296
5901	0,324	0,2806	0,4826
6000	0,442	0,4674	0,3898
6001	0,6048	0,6269	0,2755
6100	0,7143	0,7967	0,0811
6201	0,7842	0,7363	0,7095
6206	0,7994	0,7283	0,4822
6207	0,6089	0,4925	0,4671
6500	0,6809	0,6842	0,5975
7400	0,6471	0,7384	0,3521
7800	0,275	0,2868	0,5104
8000	0,6566	0,6709	0,4328
9400	0,5842	0,3366	0,4581
9900	0,6539	0,571	0,5425

Fonte - PENEDO, P. H. S., 2015.

As equações de regressão ajustadas entre Tr e Pm tiveram grande variação, tanto para o período seco e chuvoso (abril a setembro e outubro a março, respectivamente), quanto para todo o período, havendo ajustes lineares, logarítmicos, exponenciais, polinomiais e potenciais, com R² entre 0,01 e

0,89 para o período todo; R^2 entre 0,01 e 0,96 para o período seco (abril a setembro); e R^2 entre 0,04 e 0,88 para o período chuvoso (outubro a março).

As variáveis T_r e P_m geralmente apresentam boa relação como demonstrado nos trabalhos de Fraga et al. (2012) e Araujo et al. (2011), apresentando elevados valores de R^2 . Porém, os referidos autores utilizaram períodos de precipitação acumulada menores. No estudo de Fraga et al. (2012) utilizou-se de 6 a 10 dias de precipitação acumulada e Araujo et al. (2011) utilizaram um período de 24 horas de chuva anterior à coleta de dados, o que pode ter acarretado melhores resultados. Assim, a utilização de valores mensais nas regressões pode ser o motivo da reduzida precisão dos ajustes, visto que um número pequeno de bacias apresentou R^2 acima de 0,7: apenas 16 para o período seco; 9 para o período chuvoso; e 10 para todo o período.

Nos estudos de Oliveira e Cunha (2014), os autores observaram um impacto significativo da precipitação sobre a turbidez, que se intensificou durante as estações chuvosas. O rio Jari divide os estados do Amapá e do Pará e tem importância estratégica tanto econômica e ambientalmente na região. Entre os usos mais importantes do rio estão o abastecimento de água (captação de água) e o lançamento de efluentes domésticos dos municípios de Laranjal do Jari e Vitória do Jari (AP).

De uma forma geral, o fator de maior influência na turbidez é a precipitação, por sua ação mecânica, que desagrega e carrega partículas de solo aos corpos d'água e por regular a vazão, aumentando a velocidade e o volume de água nos corpos hídricos. Ainda assim, é difícil estabelecer uma relação entre turbidez e precipitação uma vez que diferentes usos do solo desencadeiam processos erosivos de diversos graus (FRITZSONS et al., 2003).

Os fatores de uso do solo têm influência indireta, na medida em que condicionam o efeito da precipitação em sua interface com a superfície, propiciando a infiltração ou escoamento superficial, ocasionando interceptação ou expondo o solo a ação mecânica direta da precipitação.

O manejo inadequado das pastagens capixabas, em que o sobrepastoreio ocasiona exposição do solo e degradação das características originais do solo, via compactação das camadas superficiais pode influenciar na turbidez. Além disso, é também prática corrente a dessedentação do gado diretamente nos mananciais, criando caminhos de solo exposto e compactado até o corpo d'água.

A regeneração florestal, oriunda de áreas agrícolas e pastagens mal conduzidas e abandonadas, bem como de processos de recuperação (natural ou antrópica), áreas de Reserva Legal (RL) e Áreas de Preservação Permanente (APPs), podem sugerir fragilidade nestes locais, o que interfere na turbidez.

Atividades agrícolas temporárias também podem contribuir para a ocorrência da turbidez, devido ao intensivo preparo do solo, situações em que ele pode estar exposto, ou sofrer alterações em sua estrutura por processos mecânicos, como aração e gradagem. A agricultura irrigada também pode ter influência adicional na geração de escoamento superficial, pela alteração da umidade do solo, o que num episódio de precipitação pode provocar a saturação antecipada e o escoamento superficial.

A ocupação urbana pode estar associada com a impermeabilização de grandes áreas, o que favorece o escoamento superficial. Pode ainda ter influência relativa ao lançamento direto de efluentes domésticos e industriais não tratados diretamente nos mananciais, aumentando o material particulado de origem biológica e química, e aumentando a turbidez.

Fatores morfométricos também influenciam a interação da precipitação com o solo. De forma geral, quanto mais declivoso o relevo, maior seria a turbidez média. A amplitude altimétrica, a declividade média da bacia e a razão do relevo, por exemplo, interferem na infiltração, conseqüentemente, no escoamento superficial.

O baixo coeficiente de determinação das regressões pode ser reflexo da escala de tempo dos dados de turbidez. A utilização de dados médios mensais de turbidez e precipitação pode diluir o real comportamento dessas variáveis. Em uma mesma bacia, dois meses com mesma P_m mensal podem ocultar comportamentos pluviais bastante distintos, visto que as características intensidade e duração da precipitação são importantes na definição do potencial erosivo.

A ocorrência de coeficientes de correlação parcial opostos aos esperados não constitui uma falha do procedimento em si. A correlação é uma relação entre proporções de variação de valores, sem que haja necessariamente uma relação causal (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

Por exemplo, correlação positiva entre Tr e vias urbanas asfaltadas pode indicar a ocorrência de escoamento superficial em função das superfícies impermeáveis. Já a correlação negativa pode ser o efeito de boas estradas com obras adequadas de drenagem, interceptando em alguns casos o escoamento superficial de áreas adjacentes.

Da mesma forma, a correlação positiva com a declividade do curso d'água pode ser uma indicação de um curso d'água declivoso, que propicie a ressuspensão de partículas de sólidos, enquanto a correlação negativa pode ser o reflexo deste rio em uma área de relevo acidentado com utilização menos intensiva para atividades agropastoris, sendo então uma relação indireta com a grandeza em questão.

Assim, para controlar e garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano, bem como evitar ou mitigar os desequilíbrios aquáticos, outros fatores além da precipitação devem ser considerados, como o uso e ocupação do solo, bem como as características morfológicas da bacia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

- As regressões entre Tr e Pm em cada bacia tiveram ajustes variados com valores extremos entre muito bons e muito ruins.
- A relação entre Tr e Pm é um bom indicativo e pode ser usado para predição de níveis de turbidez.
- A utilização de apenas 48 meses para estas regressões pode ser um motivo para a reduzida precisão dos ajustes.
- Os níveis de turbidez podem sofrer influências de fatores como uso e ocupação do solo e as características morfológicas da bacia.
- Considerar o uso e ocupação do solo, bem como as características morfológicas da bacia, são cruciais para controlar e garantir a qualidade da água.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) -Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, I. S. et al. **Impactos da precipitação e do manejo do arroz irrigado na qualidade da água em uma microbacia do Estado de Santa Catarina, Brasil**. VI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Física Y Química Ambiental. **Anais...**Cancún: Anais do VI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Física Y Química Ambiental, 2011.

ASADOLLAH, S. B. H. S. et al. River water quality index prediction and uncertainty analysis: A comparative study of machine learning models. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, n. 1, p. 104599, 1 fev. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104599>

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] União**: seção 1, Brasília, DF, n. 85, p. 127, 07 de maio 2021.

CAMPLESI, D. C. F.; PEREZ, W. E.; SIQUEIRA, E. Q. Remoção de coliformes totais e Escherichia coli utilizando a filtração em múltiplas etapas (FIME) em períodos de alta turbidez da água bruta.

Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 1, n. 1, p. 14–18, 2010.

<https://doi.org/10.5216/reec.v1i1.11036>

DE VINCENZO, A. et al. A methodological approach for estimating turbidity in a river. **International Journal of Sediment Research**, v. 26, n. 1, p. 112–119, 1 mar. 2011. [https://doi.org/10.1016/S1001-6279\(11\)60080-2](https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60080-2)

EUGÊNIO, F. C. et al. Influência do Desmatamento na Disponibilidade Hídrica da Bacia Hidrográfica de Rive, Alegre, ES, Brasil. **Silva Lusitana**, v. 21, n. 2, p. 205–218, 2013.

FRAGA, R. S. et al. Influência da precipitação sobre parâmetros de qualidade da água utilizada para irrigação do morangueiro no município de Turuçu-RS. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 18, n. 1, p. 81–94, 2012.

FRITZSONS, E. et al. As alterações da qualidade da água do rio Capivari com o deflúvio: um instrumento de diagnóstico de qualidade ambiental. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 8, n. 4, p. 239–248, 2003.

HAMEED, Y. T. et al. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater as a pretreatment for biofilm process. **Journal of Cleaner Production**, v. 182, p. 198–205, 1 maio 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.044>

LERIS, I. et al. Turbidity and predation risk: behavioural responses of a freshwater minnow. **Animal Behaviour**, v. 186, p. 1–9, 1 abr. 2022. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2022.01.014>

MORAES, C. **Geografia do Espírito Santo**. Vitória: Fundação Cultural do Espírito Santo, 1974.

OLIVEIRA, B. S. S. de; DA CUNHA, A. C. Correlação entre qualidade da água e variabilidade da precipitação no sul do Estado do Amapá. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 261–275, 2014. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>

PEREIRA, R. Identificação e caracterização das fontes de poluição em sistemas hídricos. **Revista Eletrônica de Recursos Hídricos**, v. 1, n. 1, p. 20–36, 2004.

RAPOSO, A. A.; BARROS, L. F. DE P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. O uso de taxas de turbidez da bacia do alto Rio das Velhas – Quadrilátero Ferrífero/MG – como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. **Revista de Geografia**, v. 27, n. 3, p. 34–50, 2010.

ROWE, D. K. et al. **Lethal turbidity levels for common freshwater fish and invertebrates in Auckland streams**. Hamilton: Auckland Regional Council, 2002.

SALMONA, Y. B.; REIS JUNIOR, D. F. C. Valoração de serviço ambiental prestado por unidades de conservação no abatimento de erosão: um ensaio metodológico. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47E, p. 1–19, 2011.

SILVA, S. M. O. DA; SOUZA FILHO, F. DE A.; AQUINO, S. H. S. Avaliação do risco da alocação de água em período de escassez hídrica: o caso do Sistema Jaguaribe-Metropolitano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 749–760, ago. 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017161303>

SOLEIMANI, H. et al. Data on assessment of groundwater quality for drinking and irrigation in rural area Sarpol-e Zahab city, Kermanshah province, Iran. **Data in Brief**, v. 17, p. 148–156, 1 abr. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.12.061>. PMID:29349110 PMCID:PMC5767897

TEIXEIRA, E. C.; SENHORELO, A. P. **Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada**. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais...Porto Alegre: PUCRS, 2000

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. v. 1

YONG, S. T. Y.; CHEN, W. Modeling the relationship between land use and surface water quality. **Journal of Environmental Management**, v. 66, n. 4, p. 377–393, 1 dez. 2002. <https://doi.org/10.1006/jema.2002.0593>. PMID:12503494

ZHANG, Y. et al. Turbidity prediction of lake-type raw water using random forest model based on

meteorological data: A case study of Tai lake, China. **Journal of Environmental Management**, v. 290, p. 112657, 15 jul. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112657>. PMID:33892240

Recebido em: 25/06/2021

Aceito para publicação em: 17/08/2022